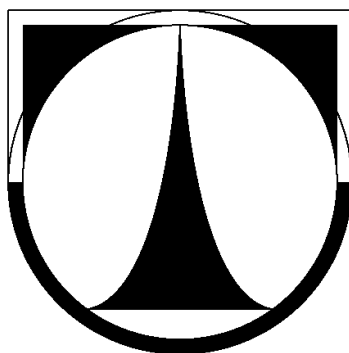


**Technická univerzita v Liberci**

Fakulta strojní



Bc. Jaroslav Pochop

## **Inovace svítidla LV s využitím technologie LED**

Diplomová práce

2012

# TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

**Fakulta strojní**

**Studijní program: N2301 - Strojní inženýrství**

Obor: Inovační inženýrství

Zaměření: Inovace výroby

Katedra částí a mechanismů strojů

## **INOVACE SVÍTIDLA LV S VYUŽITÍM TECHNOLOGIE LED**

**Innovation of lamp LV with LED technology**

Jméno autora: Bc. Jaroslav Pochop  
Vedoucí DP: prof. doc. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
Konzultant DP: Ing. Tomáš Vach, Modus spol. s r.o., Česká Lípa

### Rozsah práce a příloh:

Počet stran: 70  
Počet obrázků: 42  
Počet tabulek: 12  
Počet příloh: 9

V Liberci dne: 15. 5. 2012



## **ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE**

Jméno a příjmení **Bc. Jaroslav P O C H O P**

Studijní program: **N2301 - Strojní inženýrství**  
obor **3909T010 - Inovační Inženýrství**

Zaměření **Inovace výrobků**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje diplomová práce na téma:

### **Inovace svítidla LV s využitím technologie LED**

#### **Zásady pro vypracování:**

1. Seznamte se s dosavadním stavem řešení svítidla LV a trendy v oblasti LED technologie a tento stav popište.
2. Navrhněte koncepty možných řešení inovace svítidla LV s využitím dostupné LED technologie na trhu.
3. Vybraný koncept optimalizujte z hlediska metod DFX, FMEA a dalších metod v oblasti předvýrobních etap.
4. Proveďte výpočty v oblasti chlazení svítidla.
5. Pro celý proces návrhu výrobku až po zkonstruování svítidla využijte metod inovačního inženýrství.
6. Proveďte kontrolu hlavních namáhaných částí a simulaci křivek svítivosti u zkonstruovaného svítidla.
7. Vytvořte výkresovou dokumentaci.

Forma zpracování diplomové práce:

- průvodní zpráva: cca 50-70 stran textu včetně obrázků
- grafické práce: množství nezbytné pro snadné pochopení látky čtenářem  
výkresová dokumentace

Seznam literatury (uved'te doporučenou odbornou literaturu):


- ŠEVČÍK, L., MAŠÍN, I.: Metody inovačního inženýrství. Liberec 2006
- HABEL, J.: Světelná technika a osvětlování, Praha 1995 ISBN 80-901985-0-3
- Manuál ANSYS
- Manuál LightTools
- Dokumentace a podklady společnosti Modus spol. s r.o.
- Časopis SVĚTLO
- Katalogy a podklady firem Osram, Philips a další...

Vedoucí diplomové práce: prof. doc. Ing. Ladislav Ševčík, CSc., TU v Liberci

Konzultant diplomové práce: Ing. Tomáš Vach, Modus spol. s r.o., Česká Lípa



  
prof. doc. Ing. Ladislav Ševčík, CSc.  
vedoucí katedry

  
doc. Ing. Miroslav Malý, CSc.  
děkan

V Liberci dne 3.1.2012

---

Platnost zadání diplomové práce je 15 měsíců od výše uvedeného data (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání diplomové práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



## **Prohlášení**

Byl jsem seznámen s tím, že na mou diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

V Liberci 15. 05. 2012

.....

Jaroslav Pochop

## Poděkování

Na tomto místě bych velmi rád poděkoval konzultantovi Ing. Tomáši Vachovi z firmy MODUS spol. s r. o. za množství poznatků, připomínek, rad a věnovanému času.

Dále bych také velmi rád poděkoval vedoucímu práce panu prof. Ing. Ladislavu Ševčíkovi CSc. za věnovaný čas při konzultacích a za věcné připomínky a rady.

Zároveň bych velmi rád poděkoval svým rodičům za neustálou podporu během celého studia.



INVESTICE DO ROZVOJE VZDĚLÁVÁNÍ

*Vznik tohoto materiálu byl podpořen v rámci projektu OP VK (CZ 1.07/2.2.00/07.0291) „In-TECH 2“ spolufinancovaného Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.*

*Realizace projektu : 2009 – 2012.*

*Partneři projektu: Technická univerzita v Liberci - Škoda Auto a.s. - Denso MCZ s.r.o.*

*Manažer projektu Doc. Dr. Ing. Ivan Mašín.*



TÉMA: INOVACE SVÍTIDLA LV S VYUŽITÍM TECHNOLOGIE LED

ANOTACE:

Diplomová práce se zabývá inovací stávajícího svítidla LV technologií LED, u které je zásadním problémem chlazení svítidla. Celý průběh práce je plánován pomocí projektového řízení. Pro tvorbu návrhů jsou prozkoumána obdobná konkurenční řešení, je provedena rešerše patentů a jsou zohledněny požadavky zákazníků. Z vytvořených návrhů je pomocí rozhodovacích tabulek vybrán nejlepší koncept, při jehož detailní konstrukci je využíváno optimalizačních metod inovačního inženýrství DFX a FMEA. Takto optimalizované řešení je analyzováno v oblasti chlazení programem ANSYS, jsou zkontrolovány hlavní namáhané části a je provedena simulace křivek svítivosti. Přínosem je možnost zavedení výkonnějších LED svítidel do sortimentu firmy MODUS.

THEME: INNOVATION OF LAMP LV WITH LED TECHNOLOGY

ANNOTATION:

This diploma thesis is concerned with LED innovation of LV lamp, which currently has a challenging cooling issue. Whole process is planned by project management. Similar competitor's designs are inspected for the design creation. Patent background research and customer demand is also taken into consideration. Using decision table, the best concept is chosen. During the detailed fabrication, optimizing methods of DFX and FMEA innovation engineering is used. This optimized solution is analysed for the cooling issues by ANSYS program, main stressed parts are checked and luminance curves are simulated. By this process, MODUS Company will be able to implement more efficient lamps.

Desetinné třídění:

Klíčová slova: Inovace, veřejné osvětlení, DFX, LED, teplotní zatížení

Zpracovatel: TU v Liberci, Fakulta strojní, Katedra částí a mechanismů strojů

Dokončeno: 2012

Archivní označení zprávy:



## Obsah:

OBSAH:	6
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ:	8
SEZNAM OBRÁZKŮ:	9
1. CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	11
1.1. PŘEDSTAVENÍ FIRMY MODUS SPOL. S R. O.	12
2. SOUČASNÝ STAV A TRENDY V OBLASTI LED TECHNOLOGIE	13
2.1. VLASTNOSTI LED MODULŮ	14
2.2. PŘEDSTAVENÍ SOUČASNÉHO SVÍTIDLA	15
3. POSTUPY INOVAČNÍHO INŽENÝRSTVÍ	17
3.1. HARMONOGRAM DIPLOMOVÉ PRÁCE A INOVAČNÍ ZÁMĚR	17
3.2. RAPID PROTOTYPING	18
3.3. BENCHMARKING - ŘEŠENÍ LED SVÍTIDEL U KONKURENCE	19
3.4. IDENTIFIKACE ZÁKAZNICKÝCH POTŘEB	19
3.4.1. Zpracování dotazníku	20
3.4.2. Výstupy z dotazníku a afinní diagram	21
3.4.3. Váhy parametrů zjištěné z průzkumu	22
4. NÁVRH KONCEPTŮ INOVACE SVÍTIDLA S VYUŽITÍM DOSTUPNÝCH TECHNOLOGIÍ	23
4.1. NÁVRH TECHNOLOGIE SVĚTELNÉHO ZDROJE	23
4.1.1. Světelný tok, měrný světelný výkon, teplota chromatičnosti	23
4.1.2. Návrhy technologií	24
4.1.3. Metodika výběru varianty	26
4.1.4. Rozhodovací tabulka technologií	27
4.1.5. Zvolená technologie	28
4.2. NÁVRHY A VOLBA ZPŮSOBU CHLAZENÍ	28
4.3. NÁVRHY A VOLBA MATERIÁLU KORPUSU SVÍTIDLA	29
4.4. NÁVRHY KORPUSŮ SVÍTIDEL	31
4.4.1. Model Rapid Prototyping	31
4.4.2. Varianta č. 1	32
4.4.3. Varianta č. 2	33
4.4.4. Varianta č. 3	33
4.4.5. Varianta č. 4	33
4.4.6. Varianta č. 5	33
4.4.7. Varianta č. 6	34
4.4.8. Metodika výběru varianty	34
4.4.9. Rozhodovací tabulka korpusů	35

4.5.	NÁVRHY MECHANISMŮ PŘÍRUB .....	36
4.5.1.	<i>Varianta č. 1</i> .....	36
4.5.2.	<i>Varianta č. 2</i> .....	37
4.5.3.	<i>Varianta č. 3</i> .....	37
4.5.4.	<i>Varianta č. 4</i> .....	38
4.5.5.	<i>Varianta č. 5</i> .....	39
4.5.6.	<i>Varianta č. 6</i> .....	39
4.5.7.	<i>Rozhodovací tabulka mechanismů přírub</i> .....	39
4.6.	NÁVRHY A VOLBA MOŽNOSTÍ PŘÍSTUPU DO ÚTROB PŘES KRYT .....	41
4.7.	VYBRANÝ KONCEPT .....	42
5.	KONSTRUKCE MODELU A VIZUALIZACE .....	43
5.1.	ROZPADOVÉ SCHÉMA VYPRACOVANÉHO KONCEPTU .....	45
5.2.	POPIS POUŽITÝCH DÍLŮ .....	45
5.2.1.	<i>Konstruované díly</i> .....	45
5.2.2.	<i>Zvolené nakupované díly</i> .....	47
6.	OPTIMALIZACE Z HLEDISKA METOD INOVAČNÍHO INŽENÝRSTVÍ .....	49
6.1.	DESIGN FOR X .....	49
6.2.	DESIGN FOR ASSEMBLY .....	49
6.2.1.	<i>Montáž modulu</i> .....	49
6.2.2.	<i>Montáž krytu ke korpusu</i> .....	50
6.2.3.	<i>Porovnání DFA</i> .....	51
6.3.	DESIGN FOR SERVICEABILITY .....	53
6.3.1.	<i>Otevírání krytu pomocí sponek</i> .....	53
6.3.2.	<i>Žebrování</i> .....	55
6.4.	DESIGN FOR INSTALLABILITY .....	55
6.5.	DESIGN FOR DISASSEMBLY .....	57
6.6.	FMEA .....	58
7.	VÝPOČTOVÁ ČÁST .....	59
7.1.	CHLAZENÍ SVÍTIDLA .....	59
7.2.	PEVNOSTNÍ KONTROLA HLAVNÍCH NAMÁHANÝCH ČÁSTÍ .....	62
7.3.	SIMULACE KŘIVEK SVÍTIVOSTI .....	63
8.	EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ .....	68
9.	ZÁVĚR .....	69
	POUŽITÁ LITERATURA .....	71
	SEZNAM PŘÍLOH: .....	73

## Seznam použitých zkratk a symbolů:

Označení	Jednotky	Název veličiny/popis
ABS		akrylonitrilbutadienstyren
Al		hliník
CAD		počítačem podporovaná konstrukce
DFA		návrh s ohledem na snadnou montáž
DFM		návrh s ohledem na snadnou výrobu
DFX		design for X (návrh s ohledem na X)
Driver		
EPO		evropský patentový úřad
FDM		nanášení plastu ABS vytlačením při RP
FMEA		analýza vzniku vad a jejich následků
K	K	teplota
k		součinitel bezpečnosti
Kč		korun českých
L	m	délka
LED		dioda emitující světlo
lm	lm	Lumen (světelný tok)
LV		označení stávajícího svítidla
M	kg	hmotnost
max.		maximum
min.		minimum
MODUS		firma MODUS spol. s r.o.
Obr.		obrázek
PC		personal computer - počítač
RP		Rapid prototyping - 3D tisk
UV		ultrafialové záření
P	W	Watt (příkon)
Wi-fi		bezdrátová komunikace v PC sítích
ŽOS		železniční opravny a strojírny
Ø	mm	průměr

## Seznam obrázků:

Obr. 1: Rozdíl při použití klasické výbojky a LED technologie [3].....	13
Obr. 2: Současné svítidlo LV se základními rozměry [5].....	15
Obr. 3: Rozpadové schéma současného svítidla [5] .....	15
Obr. 4: Část harmonogramu diplomové práce .....	18
Obr. 5: Příklady řešení pomocí rešerše (č. dokumentů 2058584 a TWM398090) [7] ...	19
Obr. 6: Část dotazníku použitého pro identifikaci zákaznických potřeb .....	20
Obr. 7: Afinní diagram interpretovaných potřeb .....	21
Obr. 8: Porovnání zdrojů světla .....	26
Obr. 9: Modul Philips Fortimo LED HBM [12] .....	28
Obr. 10: Řídící driver [12] .....	28
Obr. 11: Varianta č.1 .....	32
Obr. 12: Varianta č. 1 vyrobená metodou Rapid Prototyping .....	32
Obr. 13: Možnosti nastavení úhlů svítidla .....	36
Obr. 14: Pevné příruby pro výložník a stožár [5] .....	36
Obr. 15: PVC trubka .....	38
Obr. 16: Konstrukce modelu .....	44
Obr. 17: Rozpadové schéma .....	45
Obr. 18: Těsnící páska [14] .....	48
Obr. 19: Těsnící průchodka [15] .....	48
Obr. 20: Původní řešení západky .....	50
Obr. 21: Západky po optimalizaci DFX .....	50
Obr. 22: Původní řešení pantu .....	51
Obr. 23: Řešení spojení po použití DFX .....	51
Obr. 24: Spony .....	54
Obr. 25: Žebrování a tvar těla korpusu .....	55
Obr. 26: Nastavení úhlů příruby .....	56
Obr. 27: Připojení modulu k driveru [12] .....	56
Obr. 28: FMEA .....	58
Obr. 29: Síť Steady-State Thermal analýzy .....	59
Obr. 30: Bonded spojení .....	60
Obr. 31: Průběh a hodnoty teplot ve svítidle .....	61



Obr. 32: Vytvořená síť a zatížení.....	62
Obr. 33: Průhyb při zatížení.....	62
Obr. 34: Napětí při zatížení.....	63
Obr. 35: Volba materiálů .....	64
Obr. 36: Nastavení zdroje světla.....	64
Obr. 37: Receiver - směr působení světla .....	65
Obr. 38: Nastavení množství křivek .....	65
Obr. 39: Průběh výpočtu .....	66
Obr. 40: Křivky svítivosti .....	66
Obr. 41: Zobrazení svítivosti svítidla v prostoru .....	67
Obr. 42: Úrovně jasu.....	67

## 1. Cíl diplomové práce

Cílem diplomové práce je inovace svítidla LV s využitím technologie LED diod.

Právě tato technologie v současné době zažívá velký rozmach v osazování do veškerých typů pouličních svítidel místo stávajících sodíkových výbojek. Ve firmě je technologie LED zaváděna do některých pouličních svítidel tak, že výbojka a veškeré její nutné příslušenství je nahrazeno LED diodou s řídícím driverem. Tedy jednoduše řečeno, osazují staré svítidlo LV novou technologií. U LED diod s vyšším výkonem však nelze tento přístup aplikovat, jelikož se polyesterový korpus s diodou zahřívá a tím se snižuje její životnost i výkon. Hlavním problémem při zavedení LED technologie je, že při návrhu svítidla je bezpodmínečně nutné řešit teplotní zatížení.

K práci je přistupováno jako k inovačnímu projektu a proto bude využito projektového plánování pomocí harmonogramu. Bude proveden průzkum stávajících řešení u konkurence a průzkum trhu mezi uživateli. Stávající řešení budou inspirací k tvorbě návrhů a z provedeného průzkumu budou zohledněny požadavky uživatelů při návrhu jednotlivých konceptů.

Cílem je dosáhnout hmotnosti svítidla do 7 kg se stupněm krytí IP 66, životností alespoň 40 000 hodin, světelným tokem minimálně 5 000 lm s příkonem max. 80W a cenou pohybující se mezi 7000 až 15000 Kč.

Navrženy budou technologie svítidla, použité materiály, způsoby chlazení, koncepty korpusů svítidla, koncepty mechanismů přírub a koncepty přístupů do svítidla, které budou vždy samostatně zhodnoceny.

Z jednotlivých návrhů, vyhodnocených jako nejvhodnější, bude vymodelováno svítidlo s ohledem na metody v oblasti předvýrobních etap. Při návrhu tedy bude svítidlo optimalizováno z hlediska metod DFX a analyzováno pomocí metody FMEA.

Jelikož se životnost a výkonnost LED technologie se zvyšující teplotou snižuje, je nutné provést výpočty v oblasti chlazení svítidla. Maximální hodnota optimální teploty se u LED technologií pohybuje přibližně do 50°C, proto při teplotní analýze nesmí dojít k překonání této maximální teploty dané výrobcem při teplotě okolí 23°C.

Při návrhu svítidla je nutné analyzovat křivky svítivosti proto, aby svítidlo vyhovovalo použití např. na parkovištích, veřejných plochách, atp. K této analýze bude použito softwarové simulace.

Bude provedena analýza namáhání hlavních částí svítidla, především příruby, u které

se předpokládá největší zatížení. Zjištěné napětí musí být nižší než dovolené napětí.

### **1.1. Představení firmy MODUS spol. s r. o.**

Ryze česká společnost MODUS vznikla v roce 1994 a od této doby se stala jedním z nejvýznamnějších producentů osvětlovací techniky v České republice a k výrazným exportérům v tomto průmyslovém odvětví.

Mezi roky 1995 a 1996 došlo k opuštění filozofie subdodávek a vznikly první úvahy o vlastní výrobě. V následujícím roce došlo k investici do prvního vlastního děrovacího lisu (LDR25-C). V roce 1998 MODUS zakoupil nemovitosti v České Lípě k vybudování výrobního provozu. Firma se neustále snaží zlepšovat kvalitu produktů, zrychlit a zefektivnit proces výroby, přinášet zákazníkovi designově vyspělé, kvalitně zpracované svítidlo, které přinese pokud možno co největší přidanou hodnotu. Na jaře roku 2007 proběhla nejvýznamnější akce v dějinách výrobního závodu i celé společnosti – stěhování výroby. Ze starých, již pro další vývoj firmy a rozšiřování výroby nevhodných prostor, bylo zvoleno ekologicky přijatelné řešení – generální rekonstrukce starého průmyslového objektu, bývalé haly pro opravu železničních vagónů, tzv. hala ŽOS. Tímto se výroba a všechny záležitosti s ní související (vývoj, technologie, skladování, expedice atd.) dostaly pod jednu střechu, čímž se zlepšil dozor nad celým procesem výroby (docílení vyšší kvality) a zvýšila se efektivita (zvýšení produkce svítidel). [1]

V současné době MODUS disponuje moderními tvářecími automaty SALGVANINI, vystřihovacími a děrovacími automaty FINN-POWER a laserem SYNCRONO.

Do svého portfolia chce MODUS přidat výkonnější veřejné osvětlení s technologií LED. Díky předchozí spolupráci na bakalářské práci s firmou MODUS spol. s r. o. vzešla semestrální práce, která se rozšířila na tuto diplomovou práci, která právě zavedení technologie LED řeší. Téma diplomové práce je tedy inovace pouličního osvětlení technologií LED. V následující kapitole bude představen současný stav inovovaného svítidla.

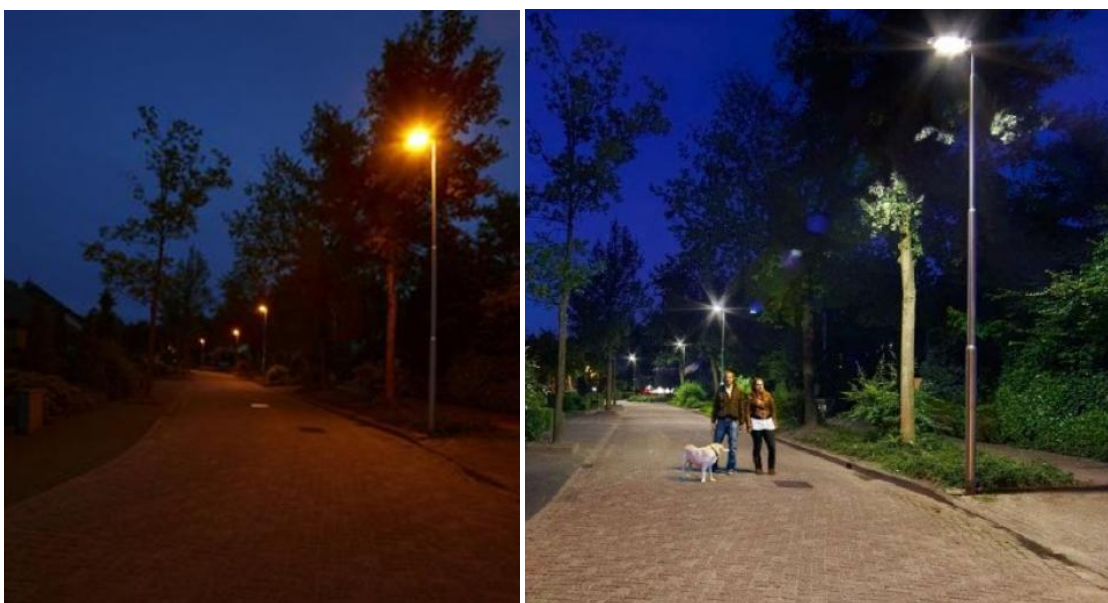
## 2. Současný stav a trendy v oblasti LED technologie

Elektronické polovodičové zařízení tzv. LED se vyvíjí z počátku prostých indikátorů stavu v elektronice po zdroje jasného bílého světla používaného pro osvětlení prostor. V současné době (r. 2012) představují cca 4% trhu s osvětlením. Je to dáno především několikanásobným rozdílem pořizovací ceny oproti tradičním žárovkám. Nicméně životnost je naopak několikanásobně vyšší, někteří výrobci již dnes deklarují hodnoty kolem 100.000 hodin provozu. Očekává se, že jakmile dojde ke snížení rozdílu pořizovacích cen na pětinásobek, dojde k růstu na 25% na trhu s osvětlením. Trendy v technice osvětlování musejí vycházet ze skutečnosti, že nejbližší období bude poznamenáno dramatickým nárůstem ceny práce a elektrické energie.

Nejlepší současné LED svítidla jsou schopny uspořit až 80% energie oproti obyčejným žárovkám. Nejvíce si LED technologii osvojují Japonsko, Čína, Tchaj-wan a další asijské země.

Trh se rozrůstá za hranice jednobarevného, či barvy měnícího použití, ke všeobecnému osvětlení v domácnosti, firem a venkovních prostor. Existují možnosti regulace osvětlení. [2]

Velký potenciál v sobě skrývají OLED zdroje světla. Současné známé technologie však zatím nedosahují takových výkonů. V odvětví s osvětlovací technikou je proto třeba stále sledovat vývoj kolem tohoto světelného zdroje a "nezaspat" tak jeho nástup.



*Obr. 1: Rozdíl při použití klasické výbojky a LED technologie [3]*

## 2.1. Vlastnosti LED modulů

Oproti klasickým svítidlům, kde se složitou cestou (přes odrazovou plochu) distribuuje světelný tok do prostoru, provozní účinnost se pohybuje kolem 68%, u světelných diod LED je tomu naopak, distribuci zajišťují vlastní optické prvky, čímž se dosahuje vyšších provozních účinností až 98%. LED diody jsou provozovatelné jak na napájecí distribuční síť 230V, tak na napájecí napětí 12/24V.

Nejvhodnější teploty jsou do 55°C, při které je dosaženo maximální životnosti. Tato skutečnost je dosud mnohými firmami opomíjena a ty se bezhlavě vrhají do různých nevyhovujících konstrukcí, jako například přestavby stávajících sodíkových světel na světla osazené LED diodami. Nehledě na to, že životnost sodíkových světel je konstrukčně navrhovaná na provozní dobu maximálně 8 až 10 let (bez sodíkové výbojky) podle typu.

Lze oprávněně tvrdit, že svítidla se světelnými LED diodami patří mezi moderní, vysoce perspektivní v oblasti jak uličního, tak i architektonického osvětlení. [4]

Výhody LED osvětlení:

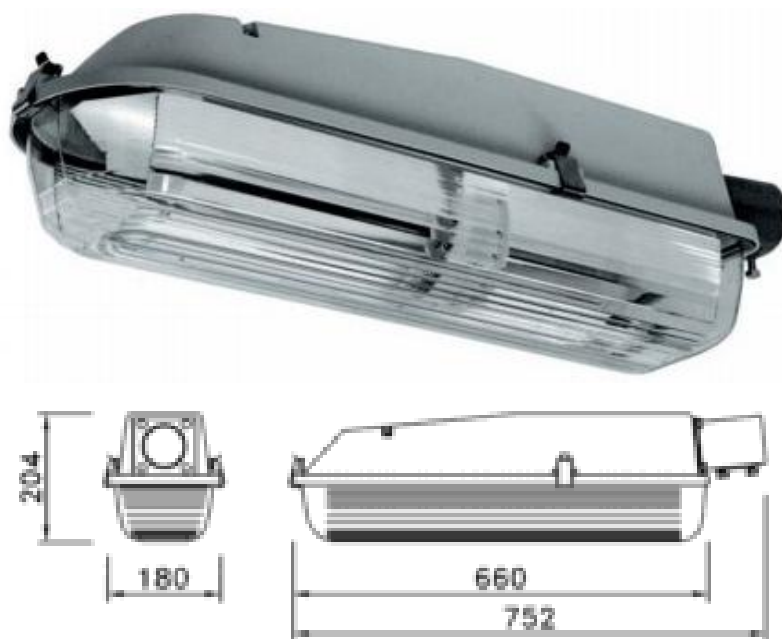
- Srovnatelné světelné parametry s tradičními svítidly kompaktní zářivky 36W
- Vhodné pro instalace s častým spínáním (ovládání pohybovým senzorem)
- Úspora energie až 80%
- Index podání barev Ra 75, teplota chromatičnosti 4000K
- Životnost 50 000 až 100 000 hodin
- Vysoká účinnost, konstantní světelný výstup
- Ekologičtější, nepotřebují složitou likvidaci jako je tomu u výbojkových zdrojů
- Žádné UV záření
- Teplota okolního prostředí -40°C až +70°C [5]
- Malé rozměry

Nevýhody LED osvětlení:

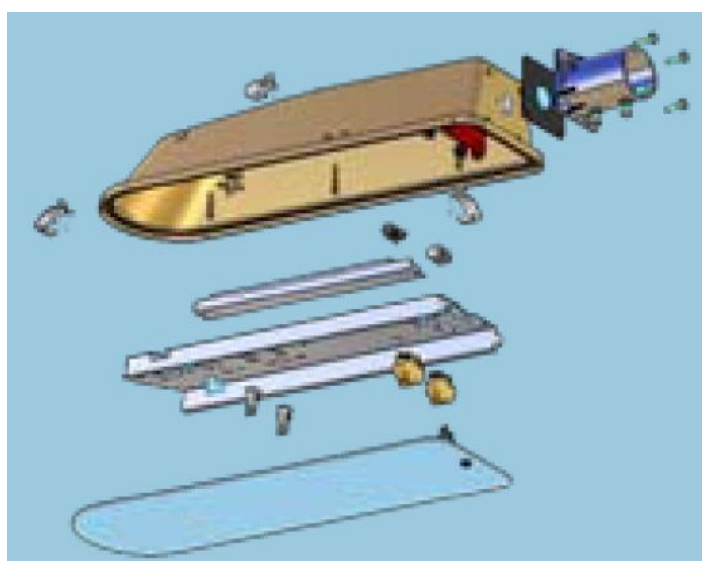
- Vyšší pořizovací náklady
- Nutnost řešit teplotní zatížení
- Světlo může působit nepříjemně

## 2.2. Představení současného svítidla

Korpus svítidla je vyroben z polyesteru, plněného skelnými vlákny. Existuje několik variant výběru světelného zdroje, nejčastěji sodíkové výbojky, který je napájen přes elektronický předřadník, jenž nahrazuje tlumivku, startér a kondenzátor a má za cíl úsporu a prodloužení životnosti světelného zdroje. Optický systém svítidla, který tvoří odrazové plochy obecného tvaru (tzv. reflektor, či světlomet) je z bíle lakované oceli. Ochranu příslušenství v korpusu zajišťuje polykarbonátový čirý kryt. [5]



Obr. 2: Současné svítidlo LV se základními rozměry [5]



Obr. 3: Rozpadové schéma současného svítidla [5]

Vlastnosti svítidla MODUS LV:

<b>Světelný zdroj</b>	TC-L, S	vysokotlaká sodíková výbojka
	M	vysokotlaká rtuťová výbojka
	SOX	nízkotlaká sodíková výbojka
<b>Optický systém svítidla</b>	PC	polykarbonátový čirý kryt
<b>Elektrická výstroj svítidla</b>	K	kompenzované, s tlumivkou $EEI = B$
	EP	elektronický předřadník
<b>Tělo svítidla</b>	korpus svítidla vyroben z polyesteru plněného skelnými vlákny	
	bíle lakovaný ocelový reflektor ve svítidle	
<b>Užití</b>	univerzální svítidlo pro osvětlení komunikací	
	univerzální svítidlo pro osvětlení pěších zón	
	univerzální svítidlo pro osvětlení parků	
	univerzální svítidlo pro osvětlení výrobních a skladových areálů	

Pokud bude tohoto svítidla využíváno i pro výkonnější LED diody, pak zajisté nebude stávající polyesterový korpus vyhovovat především z následujících důvodů:

- Nemožnost odvádět teplo, které snižuje životnost a výkonnost LED diody. V současné době je teplo odváděno pasivním chlazením integrovaným uvnitř korpusu, který současnou technologii chladí dostatečně, ale blíží se svému maximu.
- Současný korpus svítidla je velký a při osazení LED technologií je tak prostor nevyužitý, jelikož byl konstruován pro jinou technologii.
- Pevná příruba má velmi omezené možnosti nastavit umístění - směr svítidla na sloupu osvětlení (stožáru)



### 3. Postupy inovačního inženýrství

Po získání, ve firmě podaných, obecných a technických informací a požadavků na výrobek určený k inovaci jsem se rozhodl pro ucelení daných informací a vytvoření „holého“ prototypu pomocí metody Rapid Prototyping. Ten jsem využil pro rozvíjení a snazší generování možných variant, díky možnosti jej vidět jako reálný. Zároveň jsem si stanovil harmonogram projektu diplomové práce, provedl jsem průzkum konkurenčních výrobků a vytvořil jsem dotazník.

#### 3.1. Harmonogram diplomové práce a inovační záměr

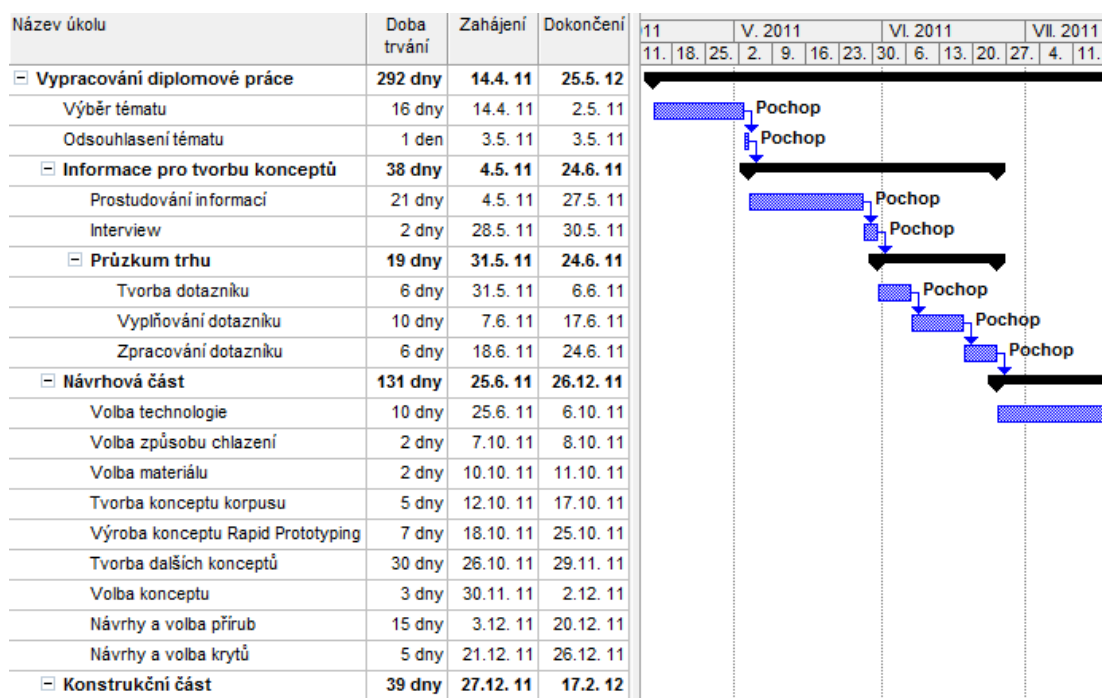
Jak již bylo řečeno výše, k diplomové práci je přistupováno jako k projektu, a proto je nezbytné si stanovit harmonogram prací a definovat inovační záměr spolu s inovačními příležitostmi.

Výrobek je určen především pro města a obce myslící na ekonomii a ekologii provozu. Pořizovací náklady zařízení jsou vyšší, nicméně spotřeba energií, životnost a náklady na údržbu jsou nižší a po několika letech se dá předpokládat návratnost investice. Pro spokojenost uživatelů je použita nejmodernější technologie světelných zdrojů od renomovaných výrobců, která je integrována v kvalitním těle (korpusu). Současnou pevnou přírubu by měla vystřídat univerzální. Výhodou by měl být rychlý start svítidla a regulace výkonu přesně podle aktuálních požadavků.

Harmonogram činností je vytvořen pomocí software Microsoft Project 2003. Jako výchozí datum bylo nastaveno pevné datum před odevzdáním diplomové práce. Od tohoto data je zpětně plánován celý projekt diplomové práce. Program umožňuje zadávání a sledování plnění jednotlivých bodů projektu, případně dokáže úkoly přeplánovat. Část harmonogramu je na obr. 4 v podobě Ganttova diagramu.

Inovační záměr i kompletní harmonogram prací jsou uvedeny v příloze 1.





Obr. 4: Část harmonogramu diplomové práce

### 3.2. Rapid Prototyping

Rapid Prototyping je skupina technologií, které umožňují výrobu modelů a prototypů komplikovaných dílů přímo z 3D CADů. Objekty mohou být vyrobeny z rozdílných materiálů závislých na vybavení, bez použití nástrojů nebo přípravků. [6]

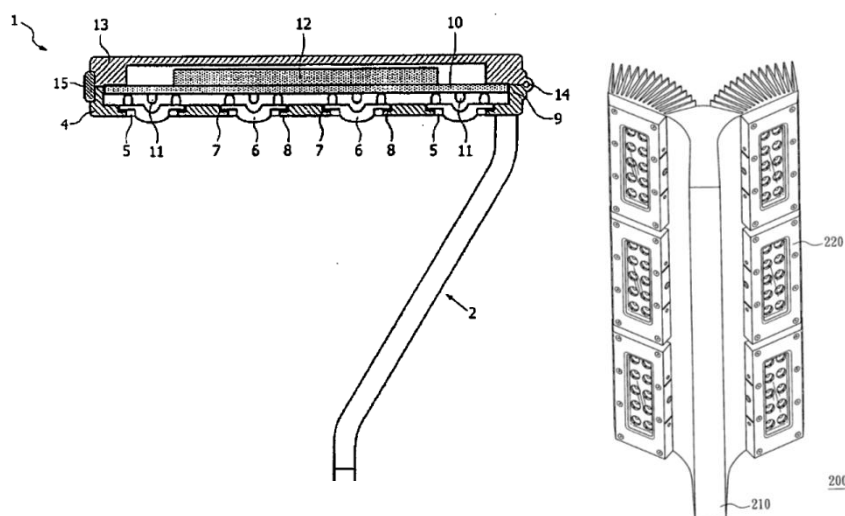
Konkrétní model (na obr. 12) je vyroben pomocí metody FDM (Fused Deposition Modelling), která je založena na nanášení spojitého vlákna daného materiálu (ABS) z vytlačovací hlavičky, která je přitom zahřívána. Materiál byl vytlačován skrz trysku o průměru 0,3mm na základní desku a podpurnou konstrukci, která je z jiného materiálu. Výhodou tohoto postupu je jednoduchý proces, který může probíhat i v kancelářích, relativně nízká cena prototypů, dobrá povrchová drsnost, možnost zastavení procesu a změna materiálu, zdravotní nezávadnost modelů.

Jelikož tato technologie neumožňuje 3D printing transparentního materiálu, byl původně kryt vytisknut stejným způsobem jako korpus svítidla. Kryt byl poté zalit silikonem, čímž se vytvořila forma. Do takto vytvořené formy se následně ve vakuové komoře nalila polyuretanová směs, čímž po vytvrnutí vznikl čirý kryt.

### 3.3. Benchmarking - řešení LED svítidel u konkurence

Benchmarking má za cíl zlepšovat vlastní produkty pomocí soustavného a systematického porovnávání s konkurenčními. Ukazuje směr, kterým by se mohl vývoj odvíjet.

Průzkum konkurenčních výrobků proběhl na internetu zkoumáním způsobů provedení a technických specifikací již vyráběných LED svítidel. Provedl jsem také internetovou rešerši patentů na stránkách EPO v databázi ESPACENET.



Obr. 5: Příklady řešení pomocí rešerše (č. dokumentů 2058584 a TWM398090) [7]

Dále jsem provedl průzkum používaných svítidel přímo v ulicích obcí (příloha č. 3) a vedl jsem diskuzi s technikem provádějící údržbu stávajících a nově instalovaných pouličních svítidel, jehož námět na snadný přístup do útrob svítidla jsem zapracoval do návrhu konstrukce.

Cena konkurenčních svítidel s LED technologií se pohybuje v rozmezí 7 000 Kč až 20 000 Kč. Průzkum konkurenčních řešení, který sloužil především jako inspirace k návrhům svítidel, je uveden v příloze č. 2.

### 3.4. Identifikace zákaznických potřeb

Identifikace zákaznických potřeb vychází ze snahy vytvořit vysoce kvalitní informační tunel mezi zákazníky (uživateli) na cílovém trhu a pracovníky podílejícími se na inovaci výrobku. Lidé, kteří bezprostředně ovlivňují charakteristiky výrobku, musí

být v přímém kontaktu se zákazníky a musí mít zkušenosti s chováním a používáním výrobku.

Je nutné identifikovat zřejmé i skryté požadavky zákazníků a zaznamenat je. K tomuto účelu slouží metody marketingového průzkumu, mezi které patří i dotazník.

Data získaná z dotazníku jsou dále využita pro volbu návrhů konceptů ve formě relativní významnosti vlastností. [8]

Kompletní dotazník a výsledky průzkumu jsou uvedeny příloze č. 4.

Přijde Vám možnost bezúdržbového provozu svítidla důležitá? \*

Ročně stojí údržba jednoho svítidla se sodíkovou výbojkou kolem 200Kč.

☐ Ano  
☒ Spíše ano  
☐ Spíše ne  
☐ Ne

Zajímalo by Vás svítidlo, které má až o 50% nižší spotřebu energie a několikanásobně vyšší životnost oproti současně používaným svítidlům? \*

☒ Ano  
☐ Spíše ano  
☐ Spíše ne  
☐ Ne

Byli byste ochotni zaplatit vyšší pořizovací cenu za svítidlo, kdybyste věděli, že se Vám do 6 let tato investice navrátí? \*

☐ Ano  
☒ Spíše ano  
☐ Spíše ne  
☐ Ne

Je podle Vás důležitá možnost častého spinání a rychlého rozsvícení svítidla? (například pro domácí použití na dvoře) \*

☐ Ano  
☒ Spíše ano  
☐ Spíše ne  
☐ Ne

Bylo by podle Vás zajímavé mít možnost stmívání, tedy snížení svítivosti v nočních hodinách? \*

(například mezi 1 - 4 hodinou ranní), kdy na ulicích není potřeba mít velké osvětlení, čímž by se snižovalo světelné znečištění.

☐ Ano  
☒ Spíše ano  
☐ Spíše ne  
☐ Ne

Jaké teploty barev Vám vyhovují? \*

viz. obrázek č.4

☐ teplé 1200K (svíčka)

Obr. 6: Část dotazníku použitého pro identifikaci zákaznických potřeb

### 3.4.1. Zpracování dotazníku

K získání informací bylo využito internetového dotazníku vytvořeného pomocí aplikace Docs poskytovaného společností Google. Průzkum probíhal od 26.5.2011 do 1.6.2011 na internetových fórech o světelné technice a na sociálních sítích. Celkový počet respondentů byl 69 a jednalo se převážně o uživatele, nikoli o zákazníky.

### 3.4.2. Výstupy z dotazníku a afinní diagram

Uživatelům vadí „problíkávání“ svítidel.

Nastavení různých úhlů svítidla nepřikládají uživatelé takovou důležitost, ovšem zákazníci (obce), kteří svítidla nakupují, toto velmi často požadují.

Uživatelé by ocenili nižší náklady na provoz a bezúdržbový provoz a jsou ochotni za to připlatit v případě, že by se jim tato investice vrátila.

Uživatelé nemají dobrý přehled ani povědomí o cenách výbojkových svítidel. Jejich odhady jsou značně přehnané; tudíž je pravděpodobné, že kladně přijmou vyšší pořizovací cenu LED svítidel, které navíc zaručí návratnost investice.

Uživatele by zaujalo svítidlo schopné automatického stmívání v nočních hodinách, případně s možností nastavení častějšího spínání.

Uživatelům vyhovuje studenější teplota světla a to především kolem 4000 až 6000 Kelvinů. Vzhled (design) svítidel příliš netrápí a jsou schopni přijmout jak designové výstřelky, tak i standardní design.

Další možné využití svítidel by dotazovaní viděli např. jako sprchu v horkém dni, zavlažovací systém pro zeleň, zvlhčování vzduchu vodou v létě, promítání reklam, osvětlení nočního parkoviště, přenašeč signálů (wi-fi hotspot), informační tabule, propojení s kamerovým systémem.

Dotazovaní, tedy uživatelé, by podle výsledků průzkumu přijali LED osvětlení velmi kladně a to i přes jeho vyšší pořizovací cenu a nevšední vzhled, především proto, že má řadu výhod. Výstupy jsou seřazeny a zpracovány v afinním diagramu podle důležitosti.

POTŘEBY		
Nízká důležitost	Střední důležitost	Vysoká důležitost
Problíkávání, hukot	Precizní zpracování	Životnost
UV záření	Snadná manipulace	Spotřeba energie
Obsah škodlivých látek	Teplota 4000-6000K	Bezpečnost
Různé barvy provedení svítidla	Funkce stmívání	Pořizovací cena
Časté a rychlé spínání	Snadná výměna modulu	Náklady na údržbu
Design		Návratnost investice
		Funkce stmívání

Obr. 7: Afinní diagram interpretovaných potřeb

V afinním diagramu jsou uvedeny požadavky vyslovené zákazníky a uživateli. Zahrnuty jsou i požadavky, které považuje zákazník za samozřejmé a proto je ani nevysloví.

### 3.4.3. Váhy parametrů zjištěné z průzkumu

Relativní významnost byla stanovena podle množství odpovědí. Každé odpovědi "ANO" byly přiděleny 2 body, "SPÍŠE ANO" byl přiřazen 1 bod, "SPÍŠE NE" -1 bod a odpovědi "NE" -2 body. Součtem bodů náležících každé vlastnosti od všech respondentů bylo dosaženo celkového počtu bodů. Poté byla každé vlastnosti přiřazena konečná váha. Jedinou výjimkou v přiřazování váhy je možnost nastavení úhlu příruby, kterou uživatelé nepovažují za důležitou, nicméně zákazníci tuto vlastnost požadují\*.

	ANO	SPÍŠE ANO	SPÍŠE NE	NE	POČET BODŮ	VÁHA
<b>Životnost a spotřeba energie</b>	54	14	1	0	$54 \times 2 + 14 - 1 = 121$	1
<b>Náklady na údržbu</b>	41	22	6	0	$41 \times 2 + 22 - 6 = 98$	0,8
<b>Funkce stmívání</b>	46	16	4	3	$46 \times 2 + 16 - 4 - 3 \times 2 = 98$	0,8
<b>Obsah škodlivých látek, produkce UV záření</b>	43	17	5	4	$43 \times 2 + 17 - 5 - 4 \times 2 = 90$	0,7
<b>Problikávání, hukot</b>	39	20	6	4	$39 \times 2 + 20 - 6 - 4 \times 2 = 84$	0,7
<b>Časté a rychlé spínání</b>	32	28	7	2	$32 \times 2 + 28 - 7 - 2 \times 2 = 81$	0,6
<b>Nastavení úhlů příruby</b>	21	31	14	3	$21 \times 2 + 31 - 14 - 3 \times 2 = 53$	1*

## 4. Návrh konceptů inovace svítidla s využitím dostupných technologií

Svítidlo s veškerými technologiemi a celkově velkou variantností součástí nelze navrhnout jako jeden velký celek, ale o jednotlivých částech je třeba rozhodovat zvlášť. Proto postupně navrhuji a posuzuji jednotlivé části zvlášť. Při hodnocení kritérií je využito relativní významnosti z provedeného průzkumu. V první části dojde k výběru technologie používané pro emitování světla. Dále je vybrán materiál korpusu svítidla, způsob chlazení a tvar svítidla podle chlazení a uspořádání technologie. Jsou také navrženy mechanismy přírub a možnosti pro přístup do útrob svítidla přes kryt.

### 4.1. Návrh technologie světelného zdroje

Volba technologie má zásadní vliv na náročnost výroby, uspořádání i velikosti svítidla. Proto je nutné si ji stanovit hned z počátku. V nabídkách výrobců veřejného osvětlení je možné najít různé zdroje světla od možnosti osazení desítek až stovek 1W LED diod v jednom svítidle, přes trojice výkonnějších 30W diod, po jeden výkonný LED modul.

Jak již bylo řečeno, v současné době je stále velmi rozšířena technologie výbojek, ale čím více klesá cena LED technologie, tím jsou výbojky používány méně. Přesto jsem se pro objektivnost rozhodl porovnávat i tyto technologie.

#### 4.1.1. Světelný tok, měrný světelný výkon, teplota chromatičnosti

Důležitým faktorem při výběru zdroje svítidla je množství lumenů, které svítidlo vysílá. Údaj ve wattech, pak udává spotřebu energie. Je zřejmé, že je snahou pořídit požadované množství světla za co nejméně spotřebované elektřiny. Je tedy třeba hledat zdroj, který dává nejvíce lumenů na 1 watt elektrického příkonu. Počet lumenů na jeden watt je důležitá veličina, která se jmenuje měrný světelný výkon a značí se  $P$ .

$$P = \frac{\Phi}{P_i}$$

U některých zdrojů světla, speciálně "bodových" svítidel s diodami LED nebo halogenovými žárovkami, uvádějí výrobci místo měrného světelného výkonu svítivost ( $L$ ) v kandelách (cd).

$$P = L \cdot 2 \cdot \pi \cdot \left(1 - \cos \frac{\alpha}{2}\right)$$

$\alpha$  je vrcholový úhel světelného kužele, do kterého zdroj svítí.

Prostorový úhel  $\omega$ , jednotka steradián, značka sr. Prostorový úhel se měří podle plochy, kterou kužel omezující prostorový úhel vytíná z kulové plochy jednotkovým poloměrem z vrcholu úhlu. Velikost prostorového úhlu, který vytne z kulové plochy o poloměru  $r$  plochu vrchlíku  $A$ , je pak dána vztahem  $\omega = \frac{A}{r^2}$ .

Plný prostorový úhel  $\omega = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi$  steradiánů (sr).

Svítivost  $L$ , jednotka kandela, značka cd. Svítivost je světelný tok, který vyzařuje bodový zdroj do prostorového úhlu 1 steradián. Jde o skalární veličinu. Jednotka svítivosti kandela je v soustavě SI základní fotometrickou jednotkou. Jedna kandela je rovna 1/60 kolmé svítivosti čtverečního centimetru černého tělesa při teplotě tuhnutí platiny (1 772 °C) za tlaku 1,01325·10<sup>5</sup> Pa.

Světelný tok (někdy také světelný výkon)  $\Phi$ , jednotka lumen, značka lm. Jeden lumen je světelný tok, vysílaný bodovým zdrojem do prostorového úhlu 1 steradián při svítivosti zdroje 1 cd. Světelný tok se vypočítá jako součin svítivosti a prostorového úhlu  $\Phi$ , ve kterém světelný tok měříme,  $\Phi = L \cdot \omega$ . Rozměr světelného toku je  $[\Phi] = \text{lm} = \text{cd} \cdot \text{sr}$ .

Měrný světelný výkon, značka  $P$ , jednotka lm/W je poměr světelného toku v lm k příslušnému zářivému toku ve W stejnou plochou pro libovolný zdroj světla.

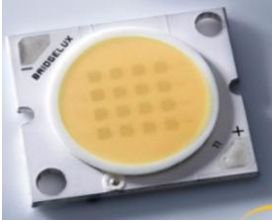
Osvětlení  $E$ , jednotka lux, značka lx. Jeden lux je osvětlení 1 m<sup>2</sup> plochy rovnoměrným světelným tokem o velikosti jednoho lumenu. [9]

#### 4.1.2. Návrhy technologií

Desítky 1W LED diod značky Seoul Semiconductor. [10]

	světelný tok	120lm
	příkon	2,3W
	měrný sv. výkon	52 lm/W
	životnost	50tis. hod.
	cena	200 Kč


Dvojice (trojice) 20÷40W LED diod značky Bridgelux. [10]

	světelný tok	2040lm
	příkon	30W
	měrný sv. výkon	70 lm/W
	životnost	50tis. hod
	Cena	600 Kč

Jeden LED modul značky Philips. [3]


	světelný tok	6000lm
	příkon	52W
	měrný sv. výkon	115 lm/W
	životnost	50tis. hod
	cena	2000 Kč

Sodíková výbojka nízkotlaká značky Philips. [11]

	světelný tok	6200 lm
	příkon	40W
	měrný sv. výkon	160 lm/W
	životnost	18tis. hod
	Cena	1000 Kč

- Hlavní výhodou sodíkových nízkotlakých výbojek, které produkují monochromatické žluté světlo, je vysoká účinnost a životnost (až 18 tis.hodin), neobsahují škodlivou rtuť tak jako rtuťové výbojky.


Sodíková výbojka vysokotlaká značky Philips. [11]

	světelný tok	6000 lm
	příkon	85W
	měrný sv. výkon	70 lm/W
	životnost	16tis. hod
	Cena	250 Kč

- Vysokotlaké sodíkové výbojky jsou ekologičtější a bezpečnější než rtuťové výbojky.



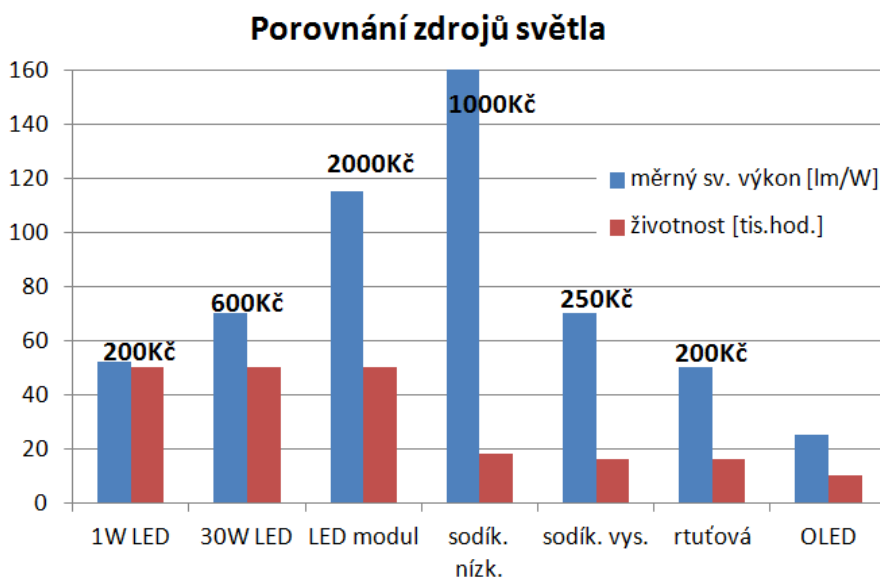
Rtuťová výbojka vysokotlaká značky Philips. [11]

	světelný tok	6200 lm
	příkon	125W
	měrný sv. výkon	50 lm/W
	životnost	16tis. hod
	Cena	200 Kč

- Vysokotlaké rtuťové výbojky představují jednu z nejstarších skupin výbojek. Krycí baňka výbojky musí být potažena bílým luminoforem, který absorbuje nebezpečné *UV záření* vydávané tělískem výbojky a zároveň zvyšuje vyzařovaný výkon výbojky.

#### OLED

- V současné době však tato technologie nedosáhla takové úrovně, aby ji bylo možné vůbec zvažovat její použití pro veřejné osvětlení. Nicméně potenciál těchto zdrojů je kolem 130 lm/W.



Obr. 8: Porovnání zdrojů světla

#### 4.1.3. Metodika výběru varianty

Parametry k rozhodování (relativní významnost) vycházejí z provedeného průzkumu.

Bylo třeba si zvolit škálu významnosti. Zvolil jsem hodnocení od 5 do 1, kde hodnota pět znamená výborné plnění kritéria a hodnota 1 je pro dané kritérium nevyhovující. V tabulce uvedené níže je uvedeno hodnocení:

Jak dané řešení splňuje dané kritérium	
5	Výborně
4	Velmi dobře
3	Dostačující
2	Nedostačující
1	Zcela nevyhovující

#### 4.1.4. Rozhodovací tabulka technologií

Porovnání dostupných technologií	Významnost	Desítky 1W LED diod	Dvojice (trojice) 20÷40W LED diod	Jeden LED modul	Sodíková výbojka nízkotlaká	Sodíková výbojka vysokotlaká	Rtuťová výbojka vysokotlaká
Životnost a spotřeba energie	1	4	4	4	3	2	2
Náklady na údržbu	0,8	5	5	5	3	3	3
Funkce stmívání	0,8	5	5	5	1	1	1
Obsah škodlivých látek, UV záření	0,7	4	4	4	4	4	2
Problikávání, hukot	0,7	5	5	5	4	3	3
Časté a rychlé spínání	0,6	5	5	5	1	1	1
Obtížnost výměny modulu	0,3	2	3	4	5	5	5
Plocha pro technologii	0,3	2	3	3	2	2	2
Měrný sv. výkon lm/W	0,5	3	3	4	4	3	2
Náročnost výroby	1	3	4	5	4	4	4
Pořizovací cena	0,6	4	3	3	5	5	5
Návratnost investice	0,6	5	5	5	2	2	2
<b>Celkově</b>		32,4	33,4	35,2	24,7	22,5	20,6

#### 4.1.5. Zvolená technologie

Jako nejvýhodnější se jeví použití jednoho výkonného modulu. Z nabídky výrobců byl vybrán modul značky Philips Fortimo LED HBM 6000 59W/641 (obr. 9), díky své modulovatelnosti a kvalitě. Světelný tok má 6000lm, příkon 59W, účinnost je 115 lm/W, teplota barvy 4100 K, udávaná životnost je minimálně 50 000 hodin.



*Obr. 9: Modul Philips Fortimo LED HBM [12]*

Hlavní rozměry modulu jsou 110 x 30,5mm x 9mm. Do jednoho korpusu svítidla je možné integrovat až dvě LED jednotky, čímž lze zvýšit světelný tok na 12 000 lm, což je hodnota díky které lze svítidlo použít například pro velké křižovatky nebo parkoviště.

Je třeba integrovat také řídicí driver, pro tyto účely je v dostupných materiálech doporučený Xitanium Constant Current Xtreme také značky Philips (obr. 10). Driver dokáže řídit výkonnost modulu podle aktuálních potřeb.



*Obr. 10: Řídicí driver [12]*

#### 4.2. Návrhy a volba způsobu chlazení

Jelikož byla zvolena LED technologie, je nutné rozhodnout o způsobu chlazení elektroniky. Známá řešení jsou například v počítačové technice, kde se využívá

aktivního chlazení pomocí ventilátoru, aktivního chlazení pomocí chladicí kapaliny, případně pasivního chlazení pomocí žebrování a heatpipe. Při posuzování těchto technologií budu přihlížet na energetickou závislost, efektivitu chlazení, finanční náročnost, životnost a montážní náročnost. Všechna kritéria mají při rozhodování stejnou váhu.

Porovnání způsobů chlazení svítidla	Energetická závislost	Finanční zhodnocení	Efektivita chlazení	Životnost	Montážní náročnost	Cellkem významnost
Ventilátor	2	4	4	2	4	16
Kapalina	2	2	5	3	2	14
<b>Pasivně</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>5</b>	<b>23</b>
Heatpipe	5	3	4	4	3	19

Pasivní chlazení není závislé na elektrické energii, tudíž nezvyšuje příkon svítidla, Vzhledem k tomu, že bude korpus svítidla odléván z hliníku, lze téměř bez nákladů vytvořit žebrování pro zvýšení množství ploch k přestupu tepla. Tím se dosáhne dostatečného chlazení elektroniky. Životnost takového způsobu chlazení je velmi dlouhá a nepotřebuje žádné servisní zásahy. V případě vytvoření žebrování při odlévání v podstatě žádná montáž neexistuje (na rozdíl od montáže větráku nebo chlazení kapalinou).

Je nutné využít vlastností materiálů a chladit za pomoci vedení (kondukce) v korpusu a proudění tepla (konvekce) z korpusu do okolí. Tímto se zamezí nižším výkonům a snižování životnosti LED technologie.

### 4.3. Návrhy a volba materiálu korpusu svítidla

Nyní je třeba zvolit vhodný materiál pro daný způsob chlazení, který byl vybrán v předchozí kapitole.

Jako nejdůležitější bylo stanoveno kritérium vedení tepla, jelikož je nutné u LED technologie řešit tepelné zatížení. Jedná se o zásadní kritérium.

Váha 0,8 byla přiřazena ceně materiálu, jelikož cena je jedním z nejdůležitějších

faktorů při rozhodování všeobecně.

Hustotě materiálu jsem přiřadil váhu 0,6, jelikož záleží také na výsledné hmotnosti svítidla například z důvodů snadné manipulace, působení síly na přírubu atd. Její důležitost je však nižší než cena materiálu.

Tepelná roztažnost je vzhledem k působícím teplotám téměř zanedbatelná, proto jí je udělena nejnižší váha.

Porovnání materiálů k výrobě korpusu svítidla	Vedení tepla [ $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	Cena materiálu [Kč/kg]	Hustota [ $\text{g}/\text{cm}^3$ ]	Tepelná roztažnost [ $10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$ ]	Celkem významnost
Váha	1	0,8	0,6	0,4	
<b>AL slitina</b>	5 (229)	3 (450)	4 (2,66)	4 (17 až 24)	<b>11,4</b>
Plech pozic	2 (75)	4(200)	2 (7,8)	4 (13 až 16)	8
Litina	2 (62)	4 (200)	2 (7,2)	4 (12 až 14)	8
Plast	1 (0,3)	5 (50)	5 (1,2)	4 (13 až 17)	9,6

To, že se výběrem hliníkové slitiny jedná o krok správným směrem, naznačují i zkušenosti ostatních firem: „Tělesa svítidel jsou vyrobena tlakovým litím z hliníkových slitin z důvodu optimálního přenosu tepla a tím jejich chlazení a jsou od začátku navrhovány jako osvětlovací tělesa osazená LED diodami. Tato konstrukce je prozatím jediným řešením, které se nejlépe osvědčilo při provozních zkouškách. Každé jiné řešení, včetně použití plastu, prozatím selhalo. Dokonce se našli i takoví výrobci, kteří na chlazení diod a převodníku vložili do tělesa svítidla ventilátory. Celohliníkový korpus se používá z důvodu chlazení a dodržení optimální provozní teploty diod.“ [4]

Poznámka k použití plastů: V současné době je použití plastu pro korpus nepřijatelné z důvodu nemožnosti odvodu tepla do prostoru (chlazení diody). Nicméně vědci z MIT (Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, USA) přišli na zcela nový princip výroby polymerů pomocí nanotechnologie, kdy tepelná vodivost překračuje  $100 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ . Navíc se vlákna dají regulovat směr odvodu tepla.

"Celé tajemství nových vlastností se samozřejmě ukrývá ve vnitřní stavbě a ta závisí

od technologie výroby. Jde o dvojnásobné vytahování vláken. Vědci za tepla opatrně vytáhli z horkého rozpuštěného plastu rovnoběžná základní vlákna, která pak nahřáli a napínali, přičemž jejich vnitřní strukturu kontrolovali metodou mikroskopie atomárních sil.

Tahem dosáhli, že se molekulární polymerové řetězce uspořádaly rovnoběžně. Toto umravnění původního chaosu navzájem spletených vláken, typického pro běžný plast, 300 násobně zvýšilo schopnost v podélném směru přenášet teplo." [13]

#### **4.4. Návrhy korpusů svítidel**

Z důvodů potřeby kvalitního odvodu tepla jsem přistoupil k návrhu korpusů odléváním hliníku, jelikož například materiál ocelových plechů by nebyl schopen vést dostatečné množství tepla. Volba viz. tabulka výše. Návrhy korpusů svítidel se liší především ve svém tvaru, objemu, přístupu do útrob svítidla, vnitřním uspořádáním LED modulu a driveru a dále tvarem, směrem a velikostí žebrování. Při modelování jsem využíval 3D modeláře Solid Edge ST2 a Autodesk Inventor 2011.

##### **4.4.1. Model Rapid Prototyping**

Jak bylo zmíněno výše, pro reálnou vizualizaci jsem využil metodu rapid prototyping a to zcela záměrně před začátkem tvorby konceptů, respektive se jednalo o první koncept. (obr. 12)

Model neobsahuje detaily jako je například způsob upnutí krytu ke korpusu. Tyto detaily budou řešeny samostatně, jelikož existuje více variant řešení a metoda FDM je nedokáže vyrobit jako funkční.

Úlohou modelu je především reálná vizualizace skutečného svítidla a zlepšení orientace v oblasti veřejného osvětlení. Pasivní způsob chlazení v podobě žebrování mnoho svítidel nenabízí a tak názorný model prozradí o netradičním designu svítidla více, než zobrazení 3D modeláře na PC.

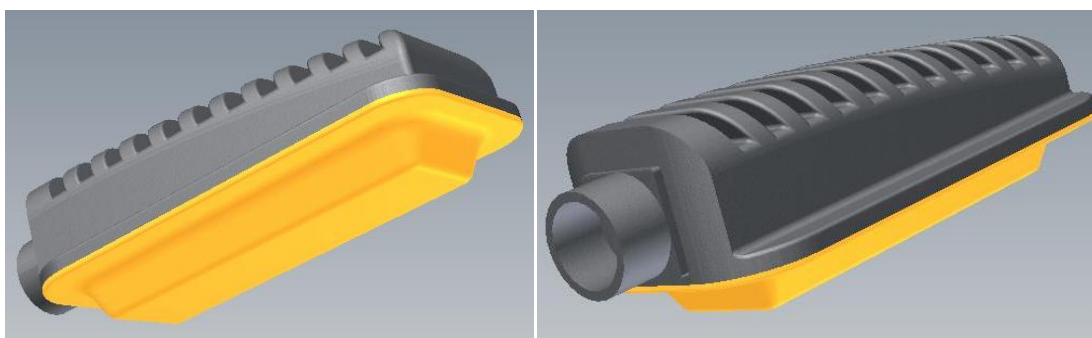
Základní informace zjištěné z modelu:

- Délka svítidla může být zmenšena oproti současnému téměř o polovinu.
- Žebrování a tvar svítidla je třeba vymodelovat s klesáním, aby při dešti byly nečistoty vodou odplaveny samospádem a tak nedocházelo k zanášení žebrování.
- Tvar žebrování by měl být podélný kvůli lepšímu odvodu tepla a vzhledu.

- V úvahu přichází stříška nad žebrováním pro znemožnění usazení nečistot.
- Nabízí se více variant vnitřního uspořádání technologie. (dioda více zasazená uvnitř, elektronický předřadník – driver je umístěn na výšku, atd.)
- Jiný systém výklopného průhledného krytu (vysouvací)

#### 4.4.2. Varianta č. 1

Tato varianta vznikla jako prvotní návrh, ze kterého byl vytvořen model pomocí metody rapid prototyping a podle kterého dále vznikaly další návrhy. Řídící driver je umístěn pod krytem.



*Obr. 11: Varianta č.1*

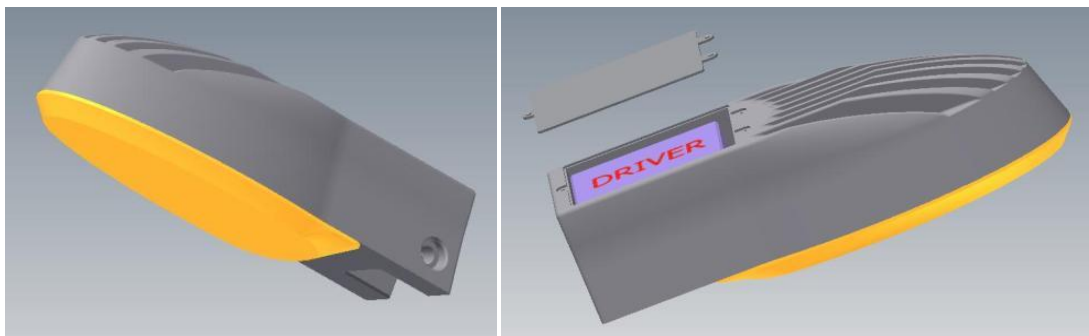


*Obr. 12: Varianta č. 1 vyrobená metodou Rapid Prototyping*



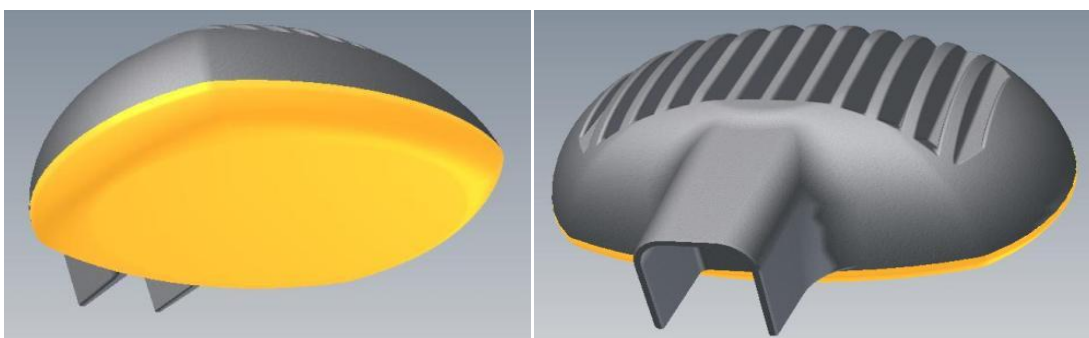
#### 4.4.3. Varianta č. 2

Uložení řídicího driveru je odděleno od LED modulu stěnou. Přístup k driveru je shora. Modul je umístěn "po délce" svítidla. Chladicí žebra jsou umístěna po délce svítidla.



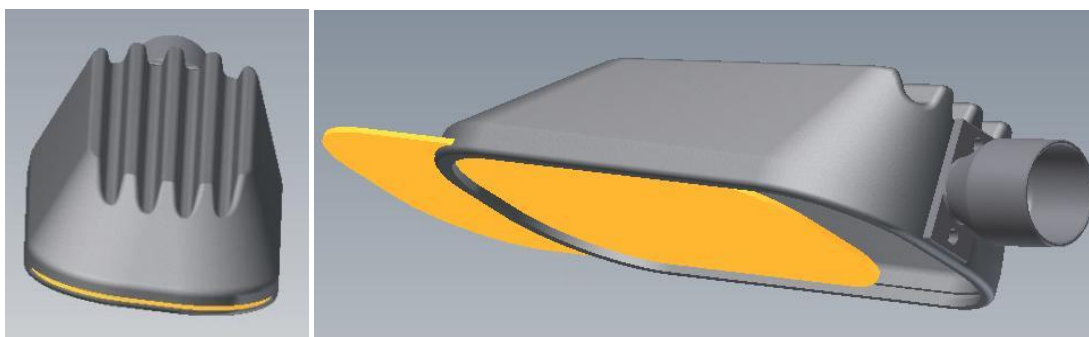
#### 4.4.4. Varianta č. 3

Modul a driver jsou umístěny v jednom prostoru. Modul je však umístěn "po šířce" svítidla



#### 4.4.5. Varianta č. 4

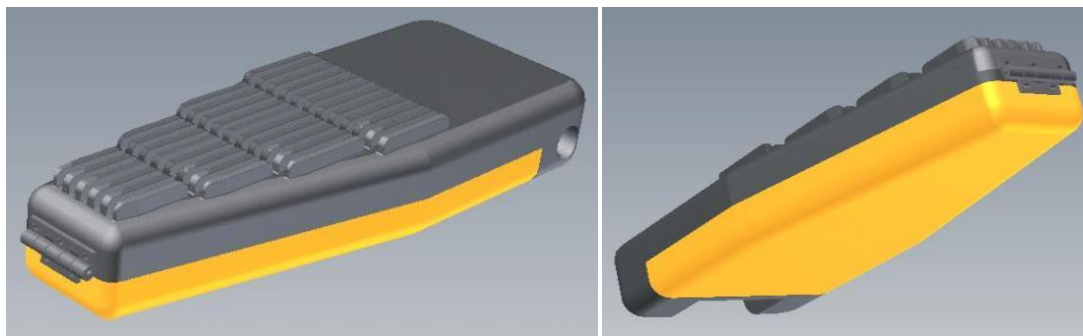
Přístup do svítidla je řešen výsuvným krytem.



#### 4.4.6. Varianta č. 5

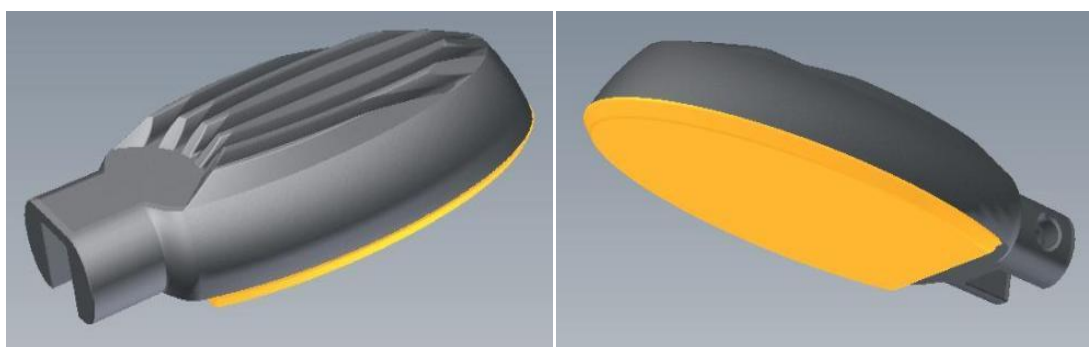
Varianta má za cíl úsporu materiálu vlivem nízkých hran korpusu a hlubokého krytu.





#### 4.4.7. Varianta č. 6

Svítidlo se více zaměřuje na možnosti designu. Návrh je optimalizován z hlediska objemu i z hlediska velikosti chladících ploch. Driver s modulem jsou umístěny v jednom prostoru pod krytem.



#### 4.4.8. Metodika výběru varianty

Zvolil jsem hodnocení od 5 do 1, kde hodnota pět znamená výborné plnění kritéria a hodnota 1 je pro dané kritérium nevyhovující. V tabulce uvedené níže je uvedeno hodnocení:

Jak dané řešení splňuje dané kritérium	
5	Výborně
4	Velmi dobře
3	Dostačující
2	Nedostačující
1	Zcela nevyhovující

V rozhodovací tabulce v závorkách jsou uvedeny skutečné hodnoty získané z modelů, podle kterých je volena hodnota z uvedené škály.

#### 4.4.9. Rozhodovací tabulka korpusů

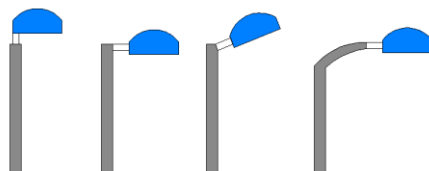
Objemu byla zvolena váha 1 z ekonomických důvodů - ceně materiálu. Velikosti chladičích ploch zůstala váha 0,5 i z důvodu, že je možné tento rozměr relativně snadno ovlivnit množstvím žeber.

Porovnání vlastností korpusu z navržených variant		Objem [dm <sup>3</sup> ]	Velikost chladičích plochy [dm <sup>2</sup> ]	Celkem významnost
Váha		1	0,5	
var.1		3 (1,39)	4 (6,5)	5
var.2		2 (1,6)	4 (6,6)	4
var.3		4 (1)	4 (6,1)	6
var.4		3 (1,31)	4 (6,3)	5
var.5		5 (0,98)	3 (4,9)	6,5
var.6		5 (0,94)	5 (7,2)	7,5

#### 4.5. Návrhy mechanismů přírub

Vzhledem k požadavkům z řad zákazníků k univerzálnosti přírub, jsem provedl návrhy řešení přírub. Na obr. 13 jsou zobrazeny časté případy uchycení svítidel. Vždy se jedná především o dva typy přírub - pro výložník a pro stožár.

Příruby jsou v současné době firmou vyráběny vždy pro daný úhel tzv. pevné (viz. obr. 14)



*Obr. 13: Možnosti nastavení úhlů svítidla*

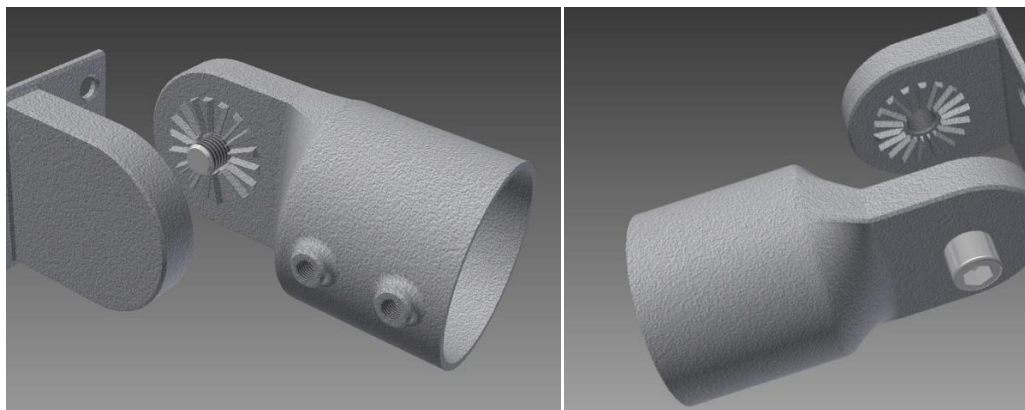


*Obr. 14: Pevné příruby pro výložník a stožár [5]*

Příruby by měly být nastavitelné jednoduchým zásahem, ale zároveň velmi pevné a tuhé. Je důležité si definovat fyzikální rozpor. V jakém čase má být příruba nastavitelná a v jakém čase má být pevná. Nastavitelná musí být před instalací na stožár. Pevná musí být po instalaci na stožáru. Díky této snadné úvaze jsem vytvořil několik návrhů:

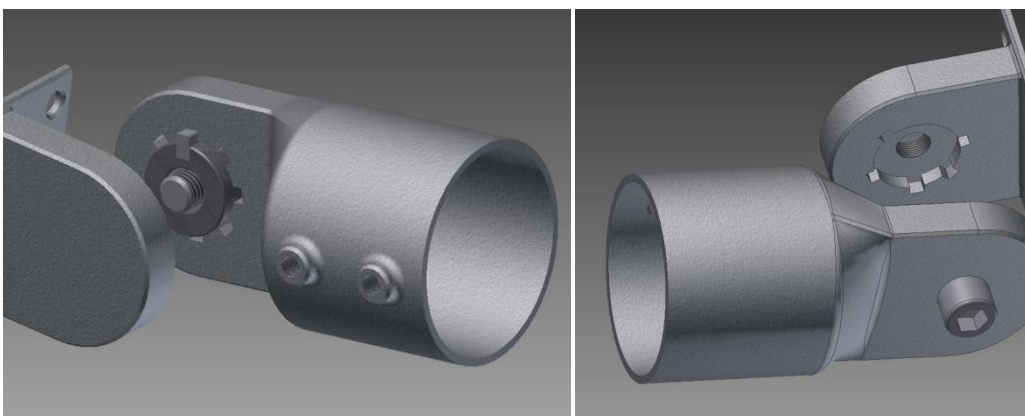
##### 4.5.1. Varianta č. 1

Na obrázku je zřejmé, že spojení se skládá ze tří součástí - stožárové trubky, šroubu a kontaktního dílu, který je přišroubován ke korpusu svítidla. Tento díl je možné eliminovat tím, že by byl proveden přímo na korpusu odlitím. Samotné spojení je realizováno pomocí vroubkování na obou stranách. Napájecí kabel je veden otvorem podél zeslabené části kolem hlavy šroubu.



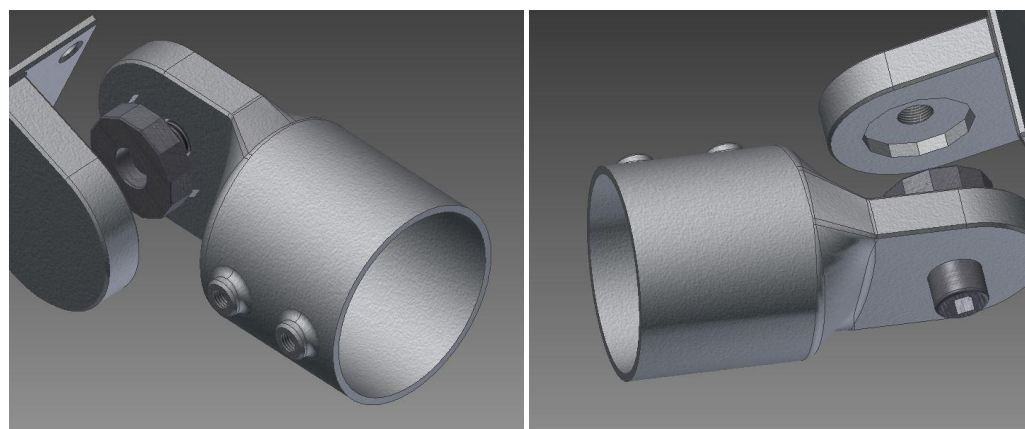
#### 4.5.2. Varianta č. 2

Složitě výrobitelné vroubkování z varianty 1 bylo nahrazeno tvarovým spojovacím členem. Díky rozdělení drážek po 45° na jedné straně a jemnějšímu rozdělení drážek na druhé straně, se zvyšuje množství kombinací nastavení úhlů.

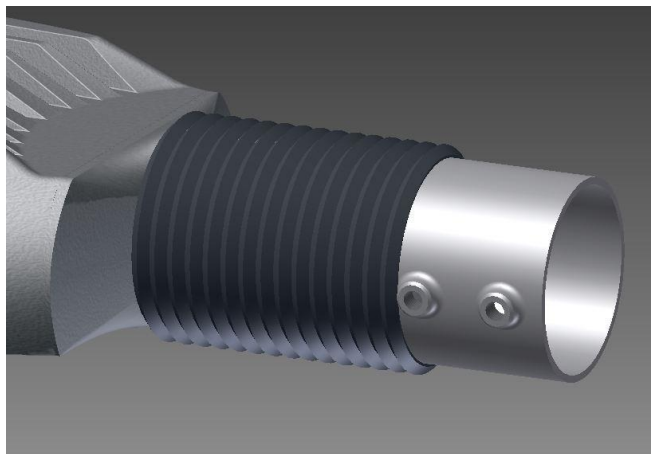


#### 4.5.3. Varianta č. 3

Využitím dvanáctihranného spojovacího členu se výroba oproti variantě 2 zjednoduší. Navíc se počet součástí sníží.



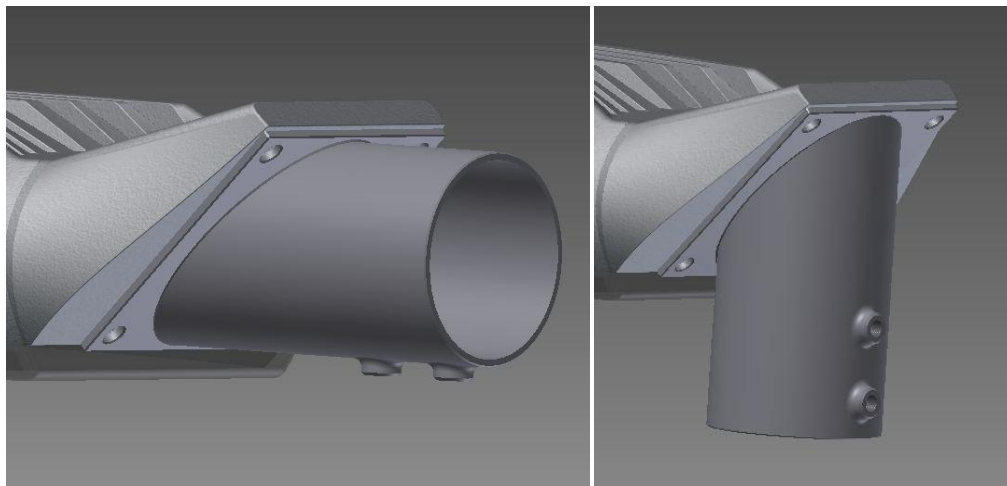
U varianty 1-3 je třeba zakrýt mechanismus a přívodní kabel nejlépe pomocí pružného elementu. Je možné využít například PVC trubky (tzv. husí krk) viz. obr. 8. Nicméně životnost tohoto provedení není zaručená.



*Obr. 15: PVC trubka*

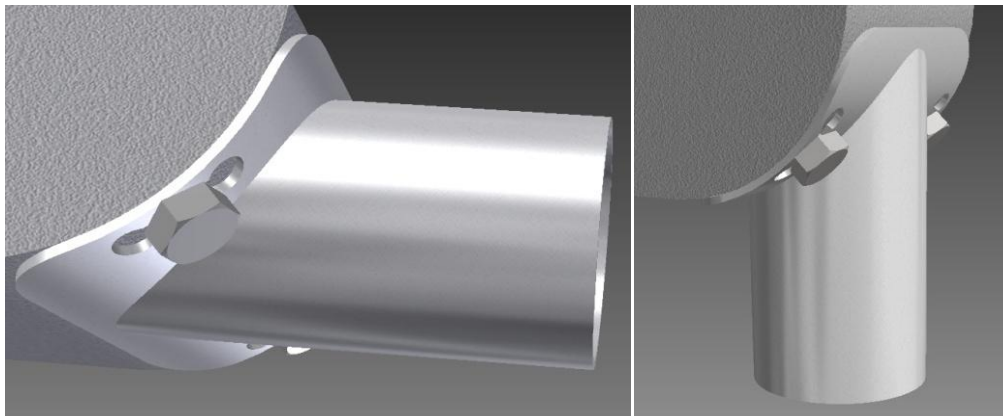
#### **4.5.4. Varianta č. 4**

Velmi častý je požadavek pouze na dva úhly (dvě polohy) příruby 180° (výložník) nebo 90° (stožár). To lze provést velmi snadno jednou univerzální přírubou s úhlem 45°. Šrouby by bylo navíc možné nahradit jiným mechanismem (západka) a tím snížit náročnost výroby i montáže.



#### 4.5.5. Varianta č. 5

Jedná se o vylepšení varianty č. 4. Možnost použití pro výložník i stožár zůstávají. Díky svému tvaru však umožňuje příruba volbu nastavení  $\pm 10^\circ$ .



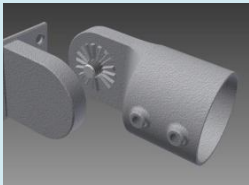
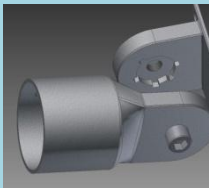
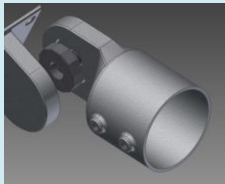
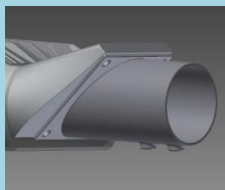
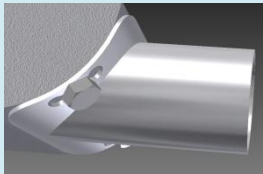

#### 4.5.6. Varianta č. 6

Toto řešení přináší téměř neomezené množství nastavení úhlů. Tělo je složeno z trubky, na které je navařené víko ve tvaru polokoule. Uvnitř je vložena koule, ve které je našroubovaný dutý šroub. Matice na šroubu je po nainstalování utažena a spojení tak drží díky třecím silám. Druhá matice umožňuje správné dosednutí ke korpusu svítidla. Kabel je veden dutým šroubem přímo do svítidla.



#### 4.5.7. Rozhodovací tabulka mechanismů přírub

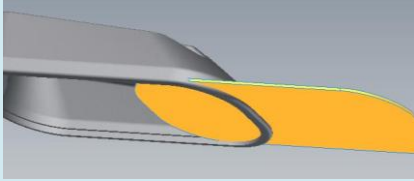
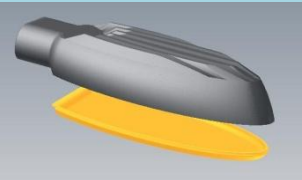
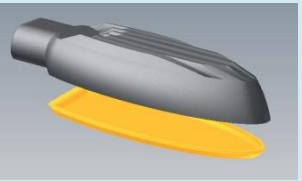

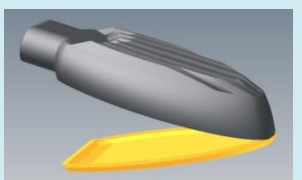
Počtu kusů příruby, stejně jako náročnosti výroby příruby, jsem udělil váhu 1. Tyto dva aspekty mají zásadní vliv na ekonomickou stránku svítidla. Složitost vedení kabelu přes mechanismus nemá tak zásadní vliv, stejně jako složitost nastavení úhlu příruby, proto jsem zvolil váhu 0,6. Obě tato kritéria pouze nepatrně zvýší čas přípravné manipulace před montáží na stožár.

Porovnání mechanismů pro nastavení úhlů svítidla v závislosti na stožáru		Počet kusů příruby [ks]	Počet úhlů nastavení [-]	Vedení kabelu přes mechanismus [bod*]	Složitost/jednoduchost nastavení úhlu příruby [bod*]	Náročnost výroby příruby [bod*]	Celkem významnost
Váha		1	0,6	0,6	0,6	1	
Var. 1		4 (3)	5 (13)	3	4	2	13,2
Var. 2		3 (5)	5 (17)	3	3	3	12,6
Var. 3		4 (4)	4 (7)	3	4	3	13,6
Var. 4		4 (1 a 4 šrouby)	3 (2)	5	5	4	15,8
Var. 5		5 (1 a 2 šrouby)	4 (4)	5	5	4	17,4
Var. 6		3 (5)	5 (∞)	5	3	3	13,8



#### 4.6. Návrhy a volba možností přístupu do útrob přes kryt

Jako velmi důležité (1) jsem stanovil těsnění krytu a to z důvodu náchylnosti elektroniky na styk s vodou. Stejně tak je důležitá pevnost přichycení krytu z důvodů jak těsnění, tak i bezpečnosti. Náročnosti a rychlosti otevření a počtu dílů jsem přiřadil váhu 0,6, jelikož nemají takový význam jako předchozí kritéria především kvůli tomu, že se předpokládá minimální nutná údržba díky vysoké životnosti.

Porovnání vlastností způsobů otevírání krytů		Těsnění krytu [bod*]	Náročnost a rychlost otevření krytu [bod*]	Pevnost připevnění krytu ke korpusu [bod*]	Počet dílů [ks]	Celkem významnost
Váha		1	0,6	1	0,6	
Vysunutí		2	3	4	5 (2)	10,8
Přišroubovaný		4	1	5	3 (5)	11,4
Odnímatelný bez pantu s upínkami		4	3	4	3 (5)	11,6
Vyklápěcí, upínky s pantem vzadu		4	3	5	4 (4)	13,2
Vyklápěcí, upínky s pantem vpředu		4	4	5	4 (4)	13,8



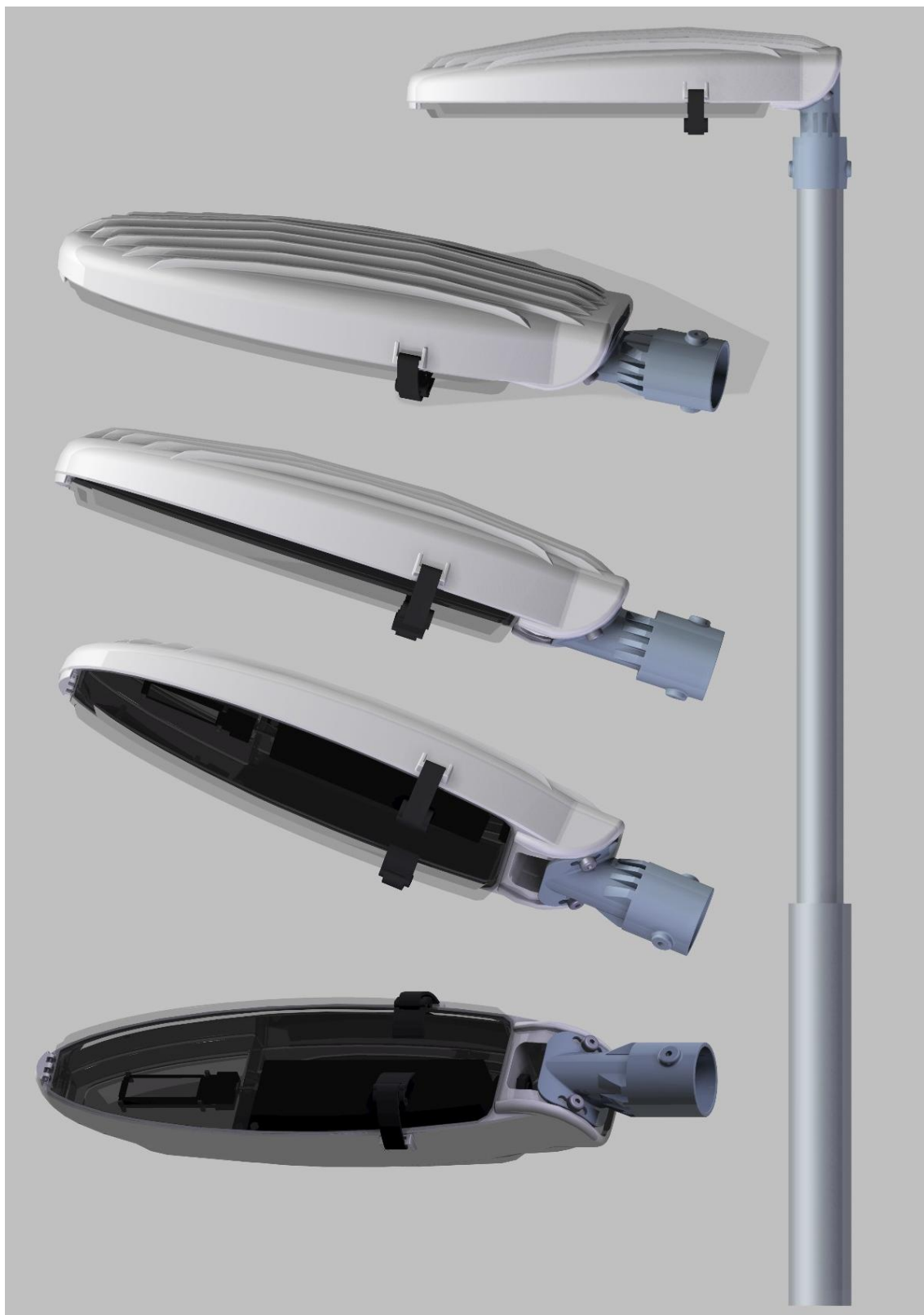
#### **4.7. Vybraný koncept**

Z rozhodovacích tabulek jsem vybral vítězné varianty jednotlivých částí a z nich vytvořil finální svítidlo. To znamená, že v hliníkovém korpusu inspirovaným dle varianty č. 6 je umístěn jeden LED modul, krytý před vlivy prostředí vyklápěcím krytem na pantu vpředu zajištěnou sponkou. Korpus je ke stožáru přichycen pomocí příruby se čtyřmi úhly nastavení. Tento model budu dále optimalizovat metodami inovačního inženýrství.

## 5. Konstrukce modelu a vizualizace

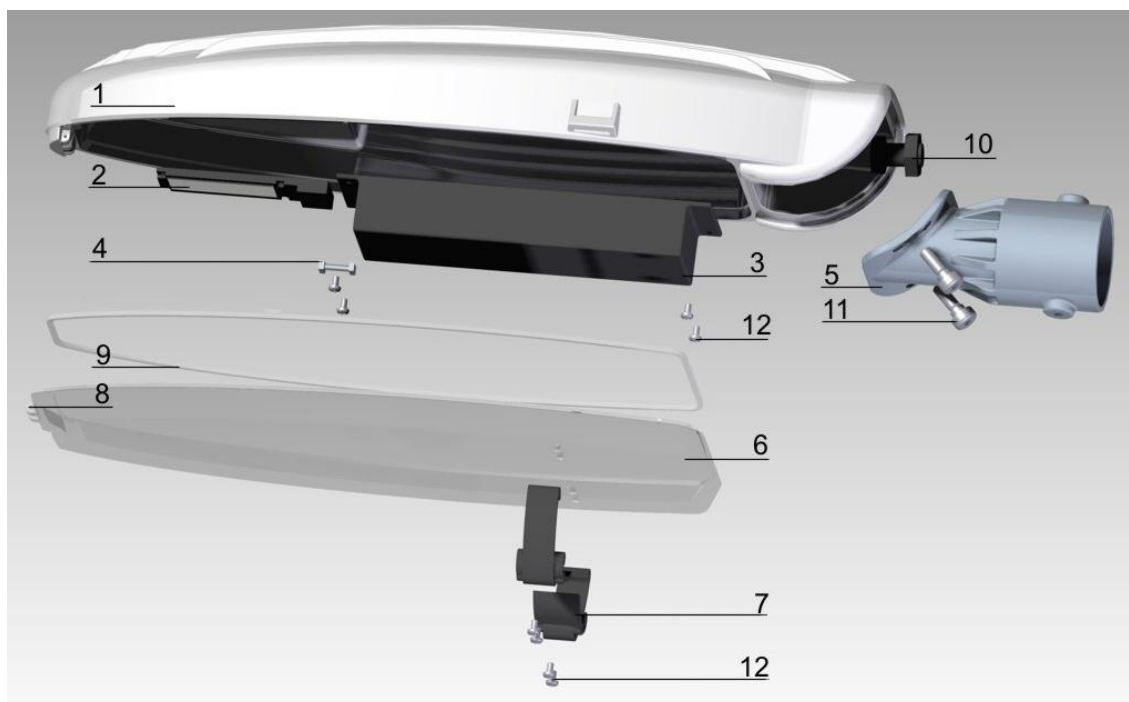
Výkres sestavy a výkres dílů jsou uvedeny v příloze č. 9.





*Obr. 16: Konstrukce modelu*

## 5.1. Rozpadové schéma vypracovaného konceptu



*Obr. 17: Rozpadové schéma*

1. Korpus svítidla; 2. LED modul; 3. Řídicí driver; 4. Řídicí kabel; 5. Příruba; 6. Kryt svítidla; 7. Spona; 8. Osa pantu; 9. Těsnění krytu a korpusu; 10. Těsnící průchodka; 11. Šroub ISO 7379 M10 x 20; 12. Šroub ISO 7045 M4 x 10.

## 5.2. Popis použitých dílů

Tato kapitola má za cíl detailněji informovat o použitých dílech sestavy a dělí je na součásti vymodelované v rámci práce a dále na součásti nakupované od externích firem.

### 5.2.1. Konstruované díly

#### 1. Korpus svítidla

Korpus svítidla je odléváný z hliníkové slitiny AlCu4Si5Zn, která zaručuje velmi dobré odvádění tepla, k čemuž současně napomáhá žebrovaní, a díky korozivzdornosti má dlouhou životnost. Korpus je modelovaný tak, aby jej bylo snadné vyjmout z formy. Je tedy opatřen 2° úkosy a má zaoblené hrany. Okraj korpusu, spolu se silikonovým těsněním, zajišťuje vynikající těsnost po celou dobu životnosti. Forma pro výrobu je trvalá kovová forma jednoduchá, dělená. Jelikož je korpus z hliníkové slitiny,

nepotřebuje povrchovou úpravu.



#### 5. Příruba

Příruba umožňuje 4 úhly nastavení a je univerzální jak pro vodorovné výložníky, tak pro svislé stožáry o průměru 42 až 60mm. Ke korpusu je uchycena šrouby M10. Je odlévána z materiálu AlCu4Si5Zn s mezí pevnosti  $R_m = 157\text{MPa}$ .



#### 6. Kryt svítidla

Konstrukce okraje krytu spolu se silikonovým těsněním, které je v drážce korpusu svítidla, tvoří „zámek“ zajišťující vynikající těsnost i proti tryskající vodě. Materiál krytu je polykarbonátový termoplast, který má propustnost světla 91%.



### 7. Spona (2x)

Obě spony zajišťují trvalý přítlak mezi korpusem a krytem svítidla. Její části jsou vyrobeny z povrchově upraveného plechu, čímž je zvýšena jejich životnost. Jejich výhodou je rychlý přístup do svítidla bez nutnosti použití speciálního nářadí pro otevření.



### 8. Osa pantu

Povrchově upravená osa o průměru 2,5mm z materiálu 11500 na koncích roznýtovaná, spojuje korpus s krytem.



## 5.2.2. Zvolené nakupované díly

### 2. LED modul

Dle doporučení výrobce má být mezi LED modulem a chladičem pouze jedna plocha. Proto je vybrán LED modul od firmy PHILIPS, jehož vlastnosti jsou popsány výše, nainstalován přímo na vnitřní ploše korpusu. Zároveň je použita teplovodivá pasta, určená ke zlepšení přenosu tepla mezi zdrojem tepla a korpusem a k lepšímu kontaktu mezi oběma díly. Uchycení modulu je provedeno pomocí západek pro snadnou instalaci při montáži i výměnu v případě poruchy.

### 3. Řídicí driver

Řídicí driver je přichycen přímo k vnitřní ploše pomocí šroubů, jelikož se nepředpokládá velká četnost jeho výměn. Slouží ke správnému napájení modulu, dle aktuálních potřeb.

### 4. Řídicí kabel

Pro napájení a komunikaci mezi driverem a modulem je od dodavatele dodáván kabel

o délce 60cm. Pomocí jednoduchého mechanismu na zacvaknutí, je jeho montáž velmi snadná, přesná a rychlá. Pro uvažované svítidlo by bylo vhodné požadovat od výrobce kabel pouze o délce 10cm.

#### 9. Těsnění krytu a korpusu

Silikonové těsnění na obr. 18, které je umístěné v drážce korpusu svítidla, zabezpečuje po zajištění krytu sponami, vynikající těsnost. Samotná těsnicí páska je nakupována na kotoučích a má rozměry 3 x 1,5 mm. Páska je vyrobena ze 100% PTFE. Pro snadnější montáž je dodávána se samolepící vrstvou a přizpůsobuje se všem nepravidelnostem povrchu. Má široký rozsah teplot od -240°C do +280°C



*Obr. 18: Těsnicí páska [14]*

#### 10. Těsnicí průchodka

Účelem průchodky je zabránit vniknutí vlhkosti do svítidla okolím přívodního kabelu elektrické energie. Průchodka je nakupována od externí firmy pro Ø 5-10mm, IP68, montážní otvor 18,3mm.



*Obr. 19: Těsnicí průchodka [15]*

11. Šroub ISO 7379 M10 x 20 (2x)

12. Šroub ISO 7045 M4 x 7 (8x)

13. Silikonová teplovodivá pasta mezi modulem a vnitřní stěnou korpusu

## 6. Optimalizace z hlediska metod inovačního inženýrství

Fáze návrhu není zásadní pouze z hlediska jakosti inovovaného výrobku, ale i z hlediska jeho provozní spolehlivosti. [16]

Proto je důležité této fázi věnovat dostatečné množství času, při kterém je vhodné využívat multiprofesních týmů složených z technologů, designérů, konstruktérů, výrobních a montážních pracovníků, logistiků atp., pro generování tvůrčích řešení a výběru nejlepších variant. Vhodným řešením může být například uspořádání workshopu.

### 6.1. Design for X

Následující kapitoly obsahují konkrétní případy z návrhu svítidla, ve kterých bylo použito principů DFX.

Součástí inovačního procesu jsou samozřejmě i metody pro detailní konstruování, jejichž rozhodující část tvoří metody typu DFX, kde X označuje oblast působení metod.

Cílem DFX metod je vytvoření co možná nejefektivnějšího modelu popisujícího reálný produkční proces. [8]

### 6.2. Design for Assembly

Montáž výrobku je organizačně složitý a nákladný proces. K jeho zvládnutí je výhodné použít metodiku DFA pro navrhování součástí s ohledem na jejich montáž. [8]

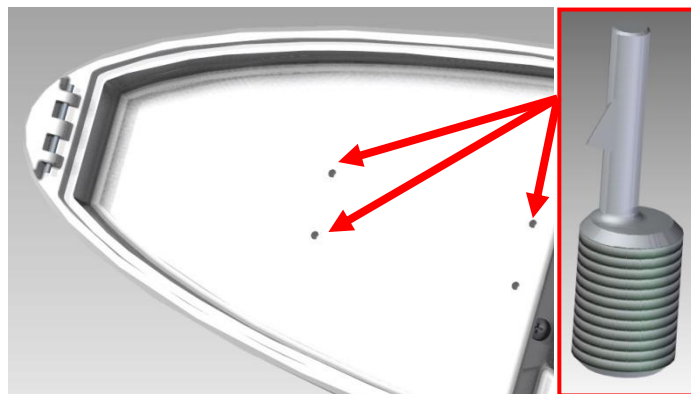
Existuje nepřeberné množství metod jak k řešením přistupovat. K dispozici je množství textů a návodů obsahujících prověřené přístupy i špatná řešení, kterým je nutno se při návrhu konstrukce vyvarovat.

#### 6.2.1. Montáž modulu

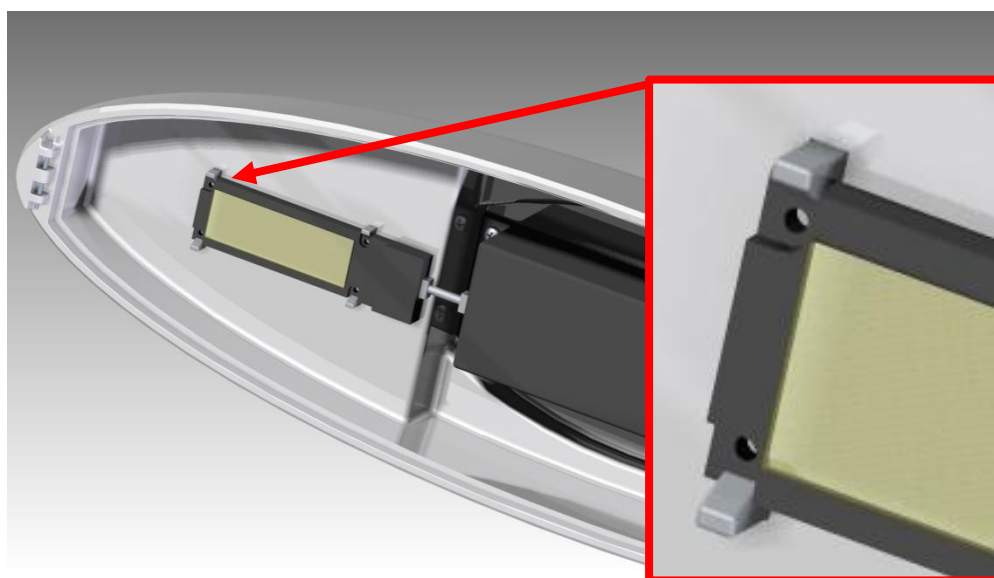
Modul je spojen se základní deskou korpusu pomocí západek, přičemž před samotným spojením je třeba na spodní plochu modulu aplikovat teplovodivou pastu. V případě porouchání modulu je proto možné jej poměrně snadno demontovat a nahradit za jiný.

Původním řešením byly západky našroubované do korpusu, což přidávalo řadu výrobních i montážních operací. Po optimalizaci jsou západky vyrobeny přímo při odlévání na korpusu.





*Obr. 20: Původní řešení západky*



*Obr. 21: Západky po optimalizaci DFX*

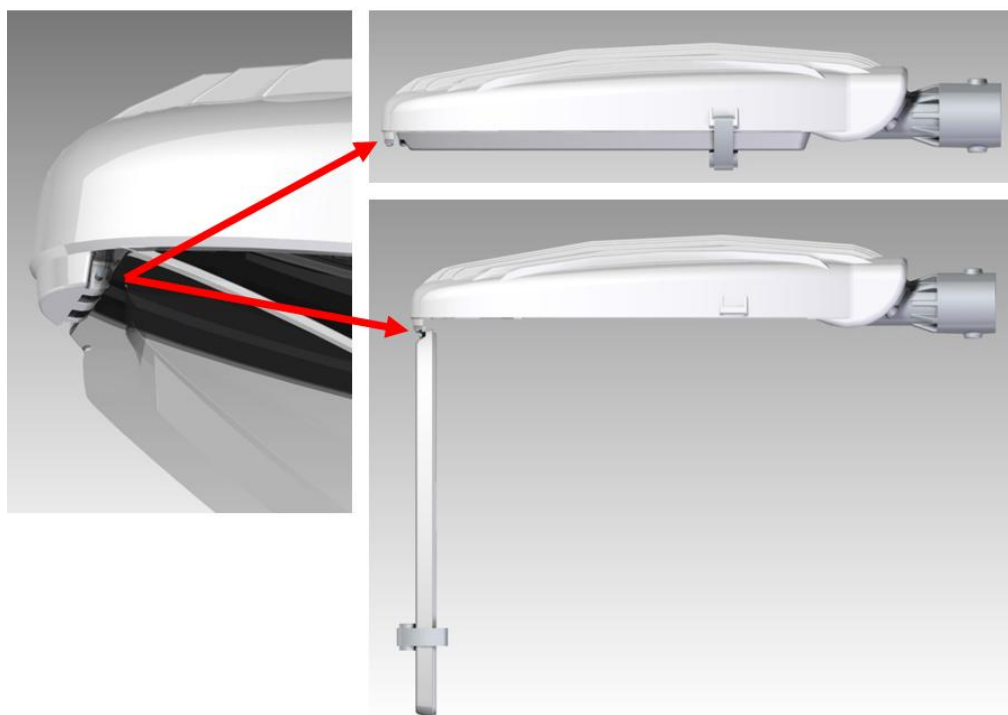
### **6.2.2. Montáž krytu ke korpusu**

K usnadnění přístupu do svítidla slouží spojení pantem na čele svítidla. Pant slouží jak ke správnému lícování krytu ke korpusu, tak ke zvýšení bezpečnosti při servisním zásahu. Nemůže se stát, že by kryt mohl při servisním zásahu spadnout. Díky tomu není nutné při „servisování“ používat zvedací plošinu a technikovi postačí žebřík, jelikož bude mít volné ruce, což není u řady svítidel možné.

Původní řešení bylo realizováno samostatným pantem, který bylo nutné přichytit k oběma součástem. Po použití optimalizačních metod je pant nahrazen osou.



*Obr. 22: Původní řešení pantu*

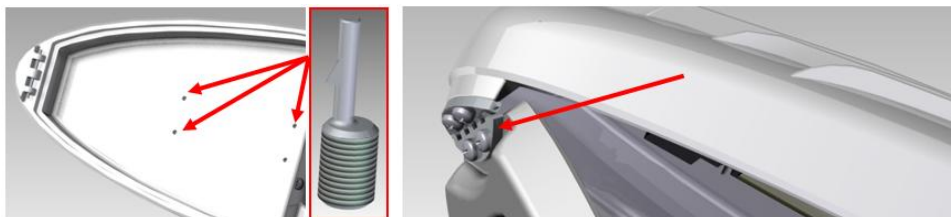


*Obr. 23: Řešení spojení po použití DFX*

### 6.2.3. Porovnání DFA

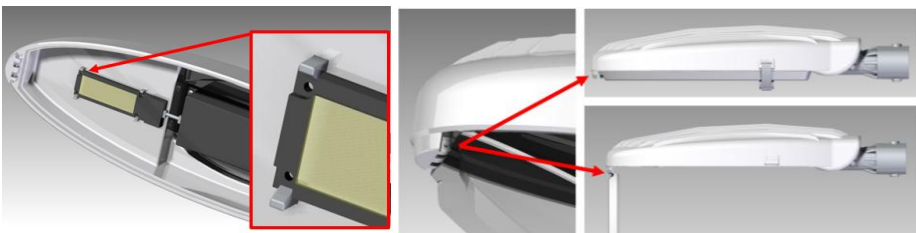
Porovnávány jsou původní navrhované stavy se stavy po optimalizaci pomocí DFA. Pro analýzu je využito metody firmy LUCAS dle tabulek uvedených v příloze č. 6.

Design for Assembly – původní návrh:



Název dílu	Analýza		Spojovací operace Manipulace
	Funkční	Montážní	
Korpus	A	1	1,5
Kryt	A	1	1,6
Modul	A	1,6	1,5
Pant	B	1	1,4
Šrouby k přichycení pantu (4x)	B	4	1,4
Šroubovatelné západky (4x)	B	4	1,8
<b>Počet dílů</b>	$\sum "A"$	$\sum M$	$\sum S$
<b>12</b>	<b>3</b>	<b>36,6</b>	<b>9,2</b>
<b>Efektivnost návrhu sestavy</b>		$\frac{\sum "A"}{\text{počet dílů}}$	<b>25,00%</b>
<b>Poměr pomocných operací</b>		$\frac{\sum M}{\sum "A"}$	<b>12,2</b>
<b>Poměr spojovacích operací</b>		$\frac{\sum S}{\sum "A"}$	<b>3,1</b>

Design for Assembly - optimalizovaný návrh:



Název dílu	Analýza		Spojovací operace Manipulace
	Funkční	Montážní	
Korpus	A	1	1,5
Kryt	A	1	1,6
Modul	A	1,6	1,5
Osíčka	B	4,1	1,4
Počet dílů	$\Sigma$ „A“	$\Sigma$ M	$\Sigma$ S
<b>4</b>	<b>3</b>	<b>7,7</b>	<b>6</b>
Efektivnost návrhu sestavy		$\frac{\Sigma "A"}{\text{počet dílů}}$	<b>75%</b>
Poměr pomocných operací		$\frac{\Sigma M}{\Sigma "A"}$	<b>2,6</b>
Poměr spojovacích operací		$\frac{\Sigma S}{\Sigma "A"}$	<b>2</b>

Z porovnání je patrné, že z hlediska montáže bude optimalizovaný návrh skutečně přínosnější, než původně navrhované řešení.

### 6.3. Design for Serviceability

Návrh z hlediska servisovatelnosti a udržitelnosti se týká mnoha výrobků. Pro výrobky s vysokou spolehlivostí a nízkou cenou je zbytečné tento návrh zařazovat, což v tomto případě neplatí.

#### 6.3.1. Otevírání krytu pomocí sponek

Použití nerezových spon šetří čas při nutné údržbě, či výměně zdroje. K přístupu do svítidla není třeba mít zvláštní nářadí. Spony jsou umístěny v přibližně 2/3 svítidla a zajišťují dostatečný přítlak ke korpusu tak, aby nedocházelo k proniknutí vlhkosti do vnitřních částí.



*Obr. 24: Spony*

Využití spon spolu s konstrukcí korpusu přináší:

- Minimalizací počtu míst údržby
- Snadný přístup k místům údržby a čištění
- Nulový počet nástrojů nutných k rozebrání a sestavení
- Díly snadno přístupné a vyměnitelné
- Použití rychlých povolovacích a upevňovacích mechanismů ke snadnému přístupu k servisovatelným místům [17]

### 6.3.2. Žebrování

Konstrukce těla korpusu a žeber je navržena tak, aby docházelo k co nejmenšímu zanášení prachem a nečistotami (tzv. samočisticí funkce). Tato vlastnost má příznivý vliv na snížení nákladů na servis tak, že zásah není v podstatě nutný. Původní návrhy tuto vlastnost zcela postrádaly.



*Obr. 25: Žebrování a tvar těla korpusu*

### 6.4. Design for Installability

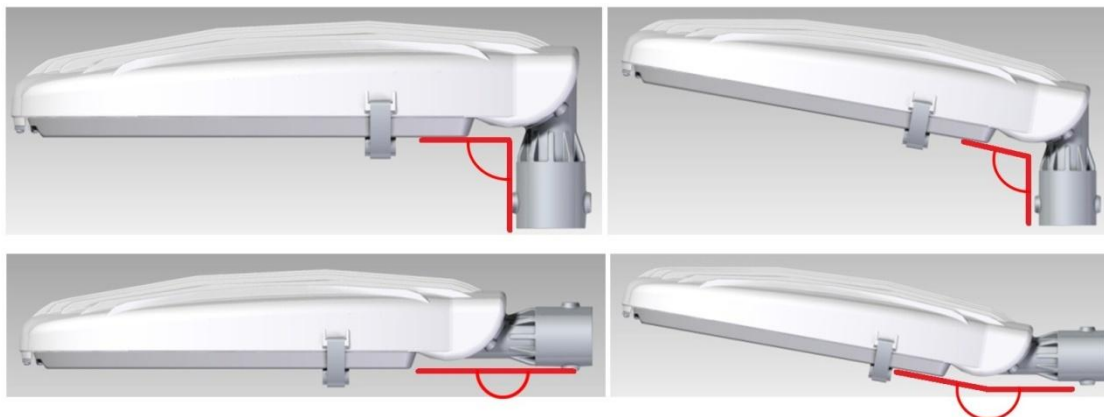
Návrh z hlediska snadné instalace se týká především výrobků vyžadujících instalaci před vlastním provozem.

Návrh by měl zohlednit:

- (Regionální) podmínky instalace
- Způsoby kotvení a upevnění
- Vyrovnání polohy
- Manipulaci při instalaci apod. [8]

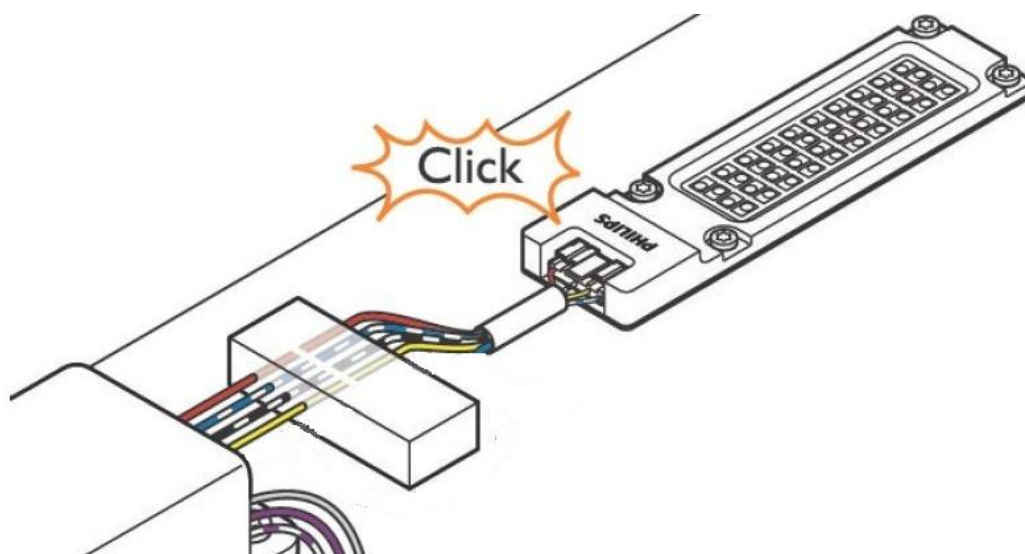
Jeho cílem je usnadnit instalaci a snížit možnost špatného nainstalování

Univerzální příruba v zásadě znemožňuje špatnou instalaci na stožár nebo výložník. Navíc usnadňuje nasazení na trubku, jelikož má rozsah od 42 do 60mm. Přichycení k trubce je zajištěno pouze dvěma šrouby. Navíc příruba umožňuje operativně upravovat úhel svítidla  $\pm 10^\circ$



*Obr. 26: Nastavení úhlu příruby*

Zvolená technologie umožňuje velmi jednoduché připojení na elektroinstalaci. Do driveru je veden kabel z veřejné sítě. Z driveru je veden kabel do modulu pomocí kabelu, jenž je uchycen pomocí zacvaknutí. Kabel tak nelze zapojit špatně a tím nelze prohodit polaritu.



*Obr. 27: Připojení modulu k driveru [12]*



## 6.5. Design for Disassembly

Při navrhování svítidla bylo využíváno metody DFD, jejíž největší přínos je na konci životního cyklu výrobku. Jedná se například o snadnou demontáž, separaci, recyklaci, atd. Následující tabulka uvádí, zda navrhovaná konstrukce splňuje obecné požadavky pro DFD dle literatury [17].

Doporučení pro DFD	Poznámky	Splněno ?
Snadno oddělitelné díly bez jejich poškození	Modul - západka, driver – šroub	ANO
Snadno vyčistitelné díly bez čisticího prostředku negativně působícího na životní prostředí	Součásti nejsou zdrojem žádného znečištění	ANO
Použité díly, které lze snadno recyklovat	Kov, plast	ANO
Konstrukce umožňující třídění	Konstrukce umožňuje snadné rozebrání a vytřídění	ANO
Snadno oddělitelné díly z umělých hmot	Přišroubované, zacvaknuté	ANO
Jednoduše identifikovatelné materiály	Každý díl má své označení	ANO
Konstrukce bez lepidel, které vyžadují chemické zpracování	Těsnící páska se samolepicí vrstvou	ANO
Minimalizovat použití silikonu	Pouze silikonová těsnící páska	ANO
Konzistentní ve velikosti a druhu upevňovacích šroubů	Použití stejných druhů šroubů	ANO
Jednoduché odstranění baterií	Baterie neobsahuje	ANO
Snadná demontáž	Povolení dvou šroubů příruby	ANO
Snadná následná bezodpadová recyklace	Všechny části svítidla se dají recyklovat	ANO
Použité bezpečné materiály	LED technologie neobsahuje škodlivé a nebezpečné materiály	ANO
Bezodpadová výroba	Korpus svítidla odléván	ANO
Čisté technologie	Odlévání	ANO
Použití surového přírodního materiálu	Konstrukce je kladena na životnost a odolnost	NE
Snadná výměna dílů a jejich další použití	Výměnu modul i driveru lze provést snadno i díky sponám krytu	ANO
Snadné oddělení kovů tak, aby je bylo možné zařadit do třídy zvyšující cenu odpadu		ANO
Použití lomových bodů pro snadnější demontáž	Není třeba	NE
Konstrukce s rozebíratelnými konektory	Konektory lze snadno vycvaknout	ANO
Konstrukce s rozebíratelnými spoji	Šrouby	ANO



## 6.6. FMEA

Metoda FMEA (Failure Mode and Effect Analysis) je analýza možnosti vzniku vad a jejich následků, většinou řešená pomocí multioborového týmu zainteresovaných lidí. Provádí se ohodnocením rizika vzniku, významnosti a odhalení vad, v rozmezí od 1 do 10, kde 10 má nejvyšší jistotu vzniku, nejvyšší významnost a nejhůře se odhaluje.

Výsledné rizikové číslo vznikne vynásobením těchto tří čísel. Obecně je třeba udělat nápravná opatření, pokud přesáhne hodnotu 100 nebo pokud je číslo rizika vzniku, významu, či odhalení příliš vysoké.

Část použité metody FMEA je zobrazena na obr. 28. Kompletní FMEA analýza je uvedena v příloze č. 7.

Název FMEA: LVLED6000					Zpracovatel: Jaroslav Pochop			
Funkce	Možná chyba	Možný důsledek	Příčina	Kontrolní a Preventivní opatření	Vznik A	Význam B	Odhalení C	Možné riziko RPZ
Korpus	Mechanické poškození	Nespokojený uživatel	Neopatrná manipulace	Vyškolení personálu	3	7	2	42
	Vnější Zanášení	Zahřívání	Tvar korpusu	Konstrukce	8	5	1	40
	Koroze	Nevzhlednost	Špatně zvolený materiál	Hliník	1	7	3	21
Kryt	Prasknutí	Zatékání, zničení modulu	Neopatrná manipulace	Vyškolení personálu	4	4	3	48
			Materiál	Materiál s vyšší pevností	1	7	3	21

Obr. 28: FMEA

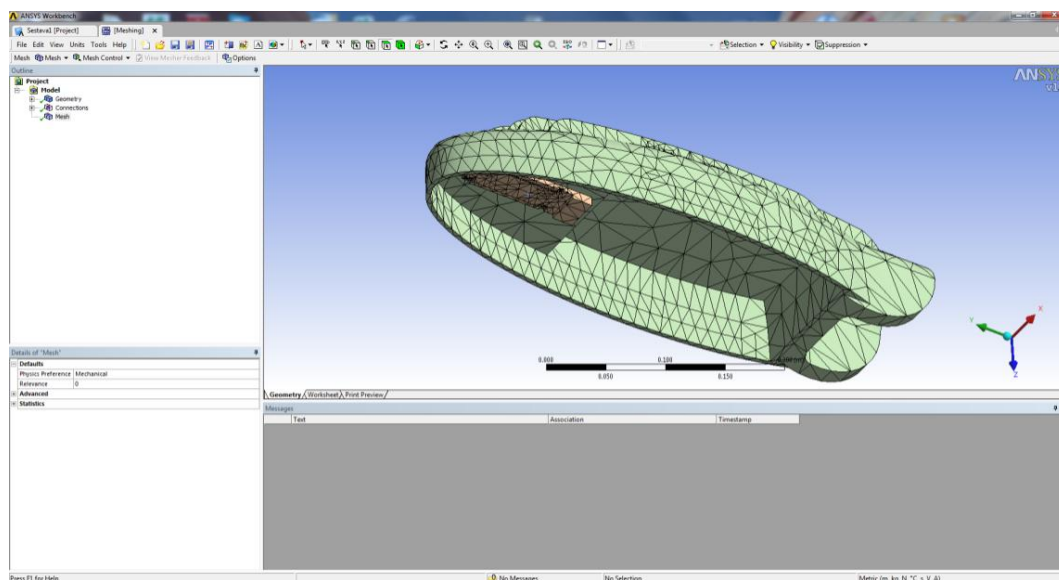
## 7. Výpočtová část

Ve výpočtové části jsou analyzovány oblasti ohledně chlazení svítidla. Je provedena kontrola hlavních namáhaných součástí svítidla a je provedena simulace křivek svítivosti.

### 7.1. Chlazení svítidla

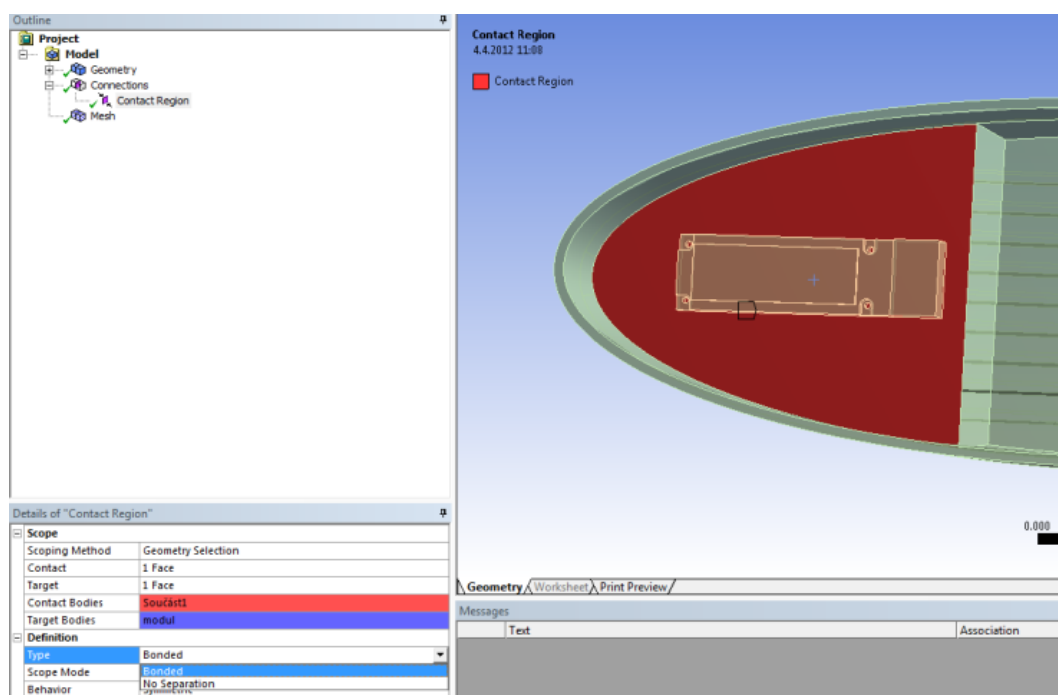
Pro simulaci chlazení svítidla v softwaru ANSYS Workbench v. 11 musel být model zjednodušen. Odebrána byla zaoblení a zkosení a simulace probíhala pouze na korpusu a modulu.

Po načtení geometrie byla vytvořena síť a součástem byly přiřazeny materiály, čímž se automaticky nastavily i hodnoty vedení či proudění tepla materiálem resp. do okolí. (obr. 29)



*Obr. 29: Síť Steady-State Thermal analýzy*

Spojení (connections) mezi modulem a korpusem bylo nastaveno na bonded. (obr. 30)

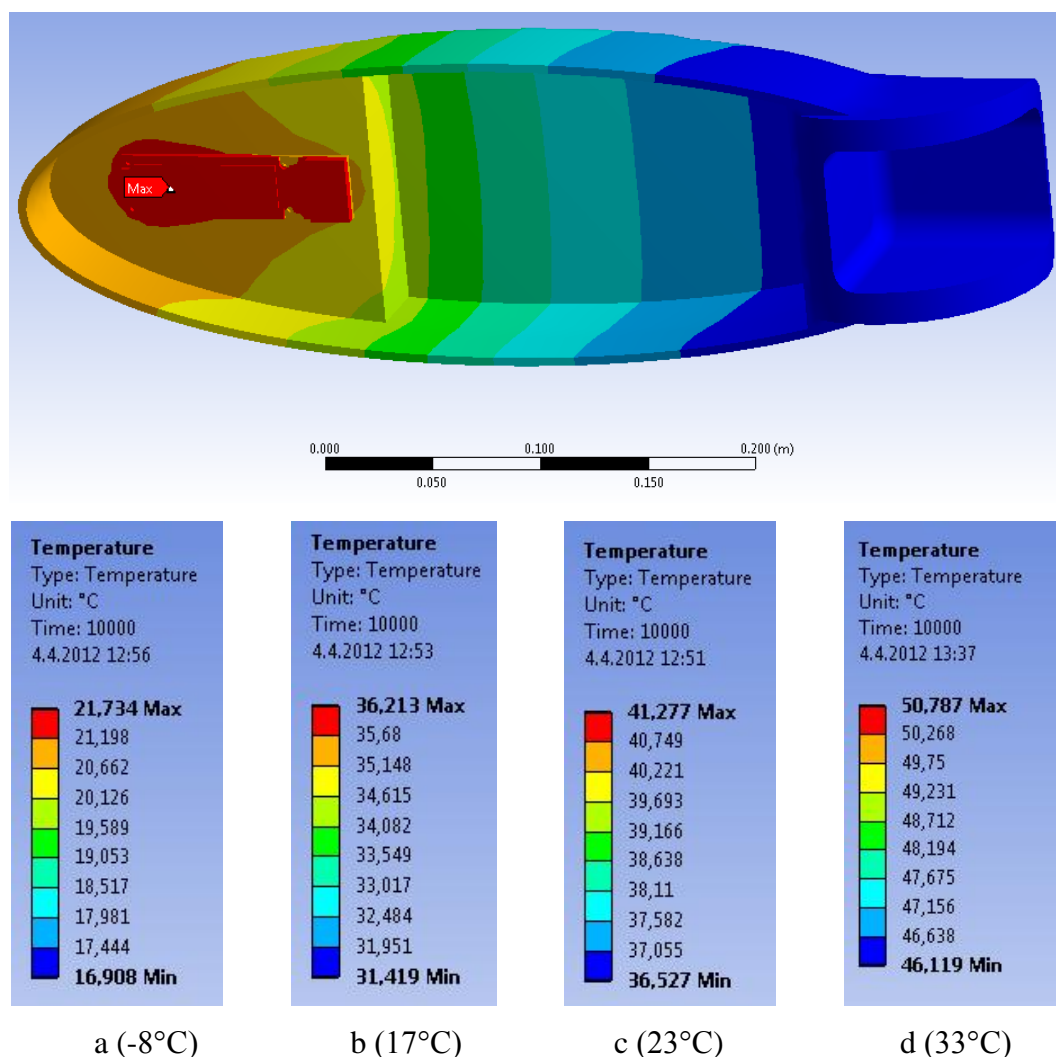


Obr. 30: Bonded spojení

Nastavena byla výchozí teplota součásti před tepelným zatížením (initial condition 17°C). Byl nastaven konečný čas simulace na 10 000 s. Dle dokumentace byl za zdroj tepla zvolen modul s hodnotou 1 720 000 W/m<sup>3</sup>. Dále byly označeny plochy korpusu pro chlazení prouděním - konvekci, byla zvolena okolní teplota a typ konvekce (stagnant air horizontal).

Simulace proběhla za různých podmínek zjištěných z webových stránek českého hydrometeorologického úřadu: nočních průměrných teplot v zimě (-8°C) a v létě (17°C), dále za maximální noční teploty 23°C a byla také zjištěna maximální teplota okolí, při které dojde k přehřátí modulu nad hraniční optimální teplotu provozu.

Výsledky simulace jsou na obr. 31.



Obr. 31: Průběh a hodnoty teplot ve svítidle

Na obr. 31a vidíme teploty součásti při teplotě okolí -8°C, na obr. 31b při teplotě okolí 17°C, obr. 31c zobrazuje hodnoty při 23°C.

Na obrázku 31d došlo k překonání optimální teploty modulu 50°C, tato hodnota odpovídá okolní teplotě 33°C.

Z katalogových údajů výrobce je maximální dovolená teplota  $T_{MAXDOV} = 75^{\circ}\text{C}$ .

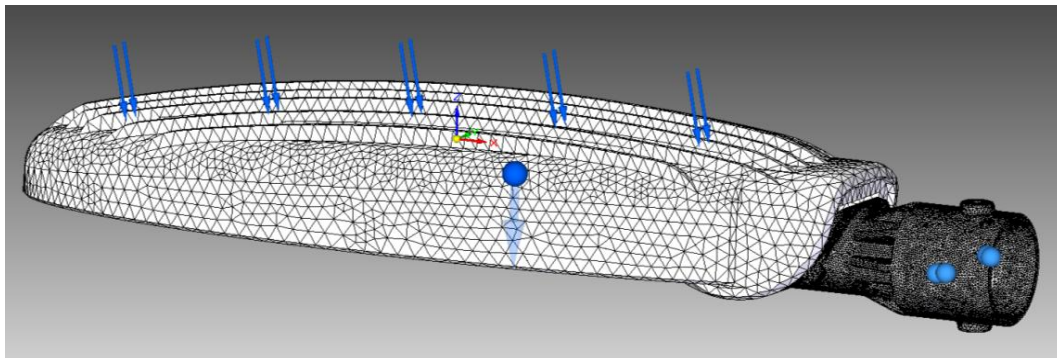
Teplota, při které dojde k vypnutí,  $T_{MAXVYP} = 85^{\circ}\text{C}$ .

Optimální teplota provozu  $T_{OPT} = (-40 \div 50)^{\circ}\text{C}$ .

Při noční venkovní teplotě 23°C je maximální teplota modulu 41,2°C. To znamená, že způsob chlazení je dostačující, a že svítidlo splňuje požadavky výrobce LED technologie.

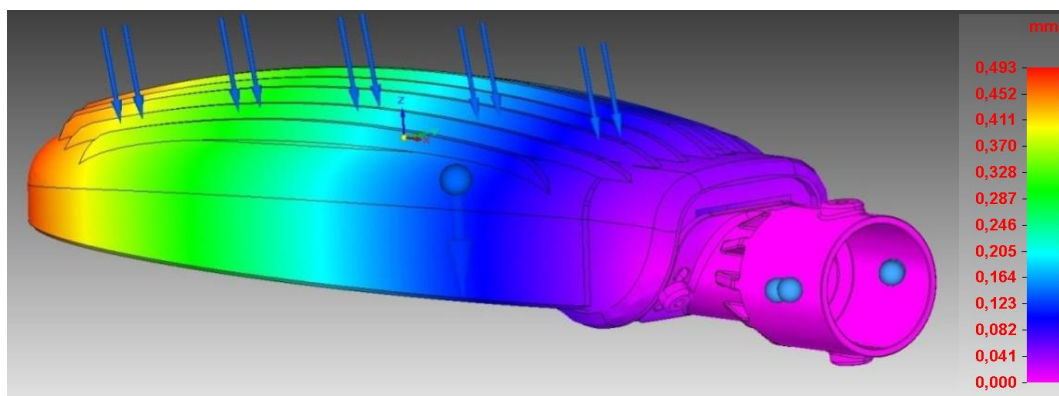
## 7.2. Pevnostní kontrola hlavních namáhaných částí

Pro simulaci namáhání jsem využil integrovaného modulu v softwaru Autodesk Inventor, který využívá technologii analýzy metodou konečných prvků na bázi řešiče Algor. Svítidlo bylo zatíženo vlastní hmotností a plošným zatížením 100N, vzniklým například od vrstvy sněhu. Byly přiřazeny materiály jednotlivým součástem. Vytvořená síť je detailnější v místě předpokládaného největšího namáhání (obr. 32)

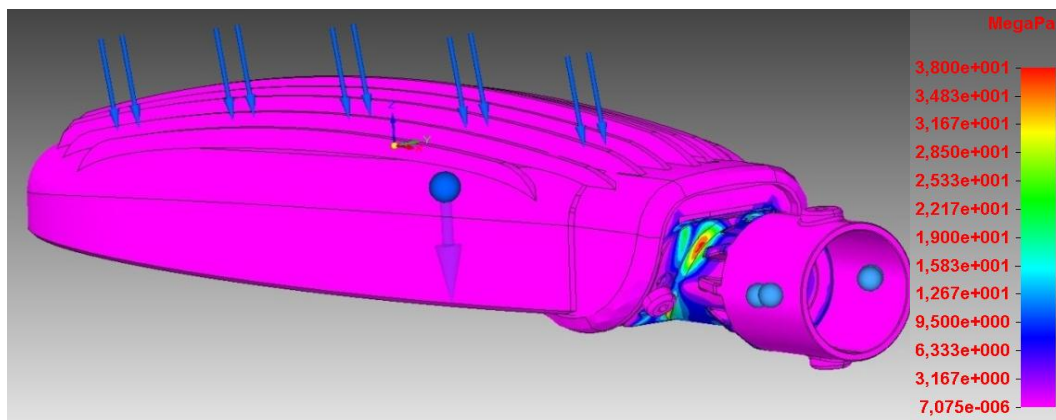


*Obr. 32: Vytvořená síť a zatížení*

Výsledkem analýzy je grafické zobrazení průhybu (obr. 33) a velikosti napětí v přírubě (obr. 34)



*Obr. 33: Průhyb při zatížení*



Obr. 34: Napětí při zatížení

Napětí v přírubě von Mises (hypotéza HMM)  $\sigma_{RED} = 3,8 \text{ MPa}$ .

Korpus svítidla je vyroben z materiálu AlCu4Si5Zn s mezí kluzu  $Re = 70 \text{ MPa}$ .

Požadovaná bezpečnost  $k_p = 3$ .

$$\sigma_D = \frac{Re}{k_p} = \frac{70}{3} = 23,3 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{RED} \leq \sigma_D = 23,3 \dots \text{vyhovuje}$$

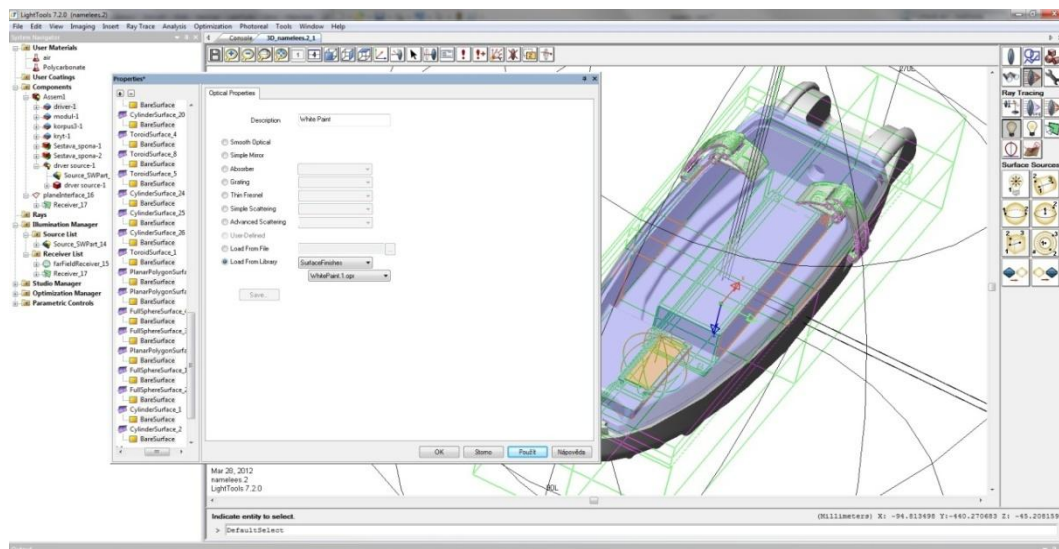
Z výsledků simulace je zřejmé, že materiál příruby namáhání vydrží.

### 7.3. Simulace křivek svítivosti

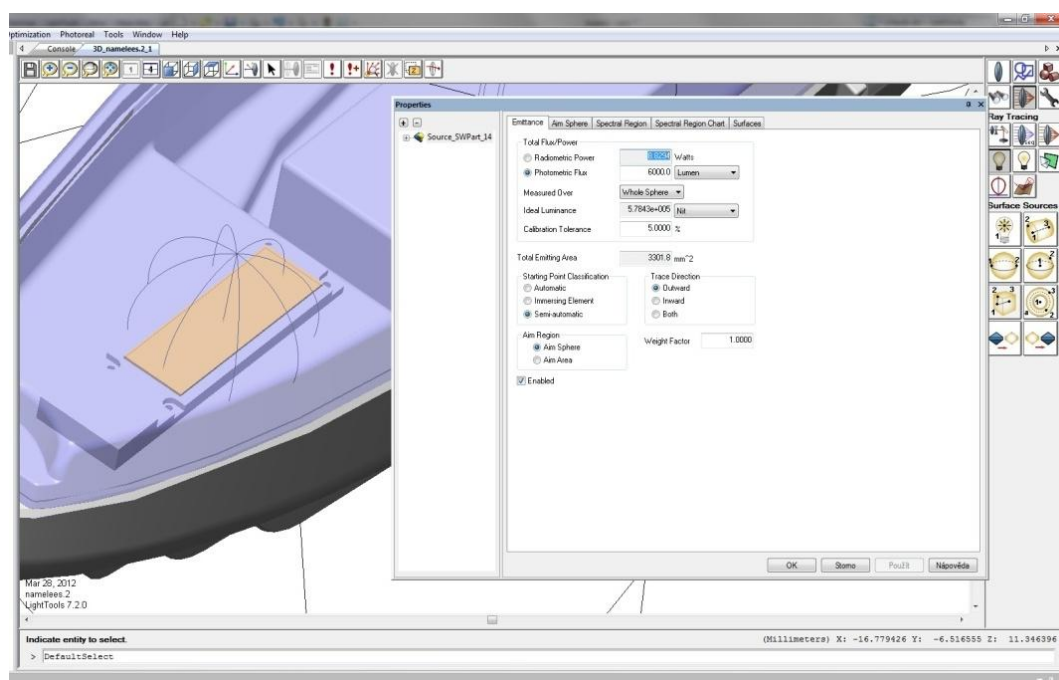
Pro simulaci křivek svítivosti byl model nejprve zjednodušen o prvky, které nemají žádný vliv na výsledek. Simulace byla provedena pomocí software Light tools verze 7.

Bylo třeba nadefinovat materiály všech součástí, pomocí čehož se stanovila propustnost a odrazivost světla (obr. 35). Byl zvolen zdroj světla (obr. 36) a směr jakým světlo působí tzv. receiver (obr. 37), nadefinovány byly všechny důležité parametry, jako je například světelný tok 6000lm, množství křivek a jakým způsobem budou křivky vyhlazeny (obr. 38). Poslední dva parametry přitom mají zásadní vliv na kvalitu, ale i časovou náročnost simulace.

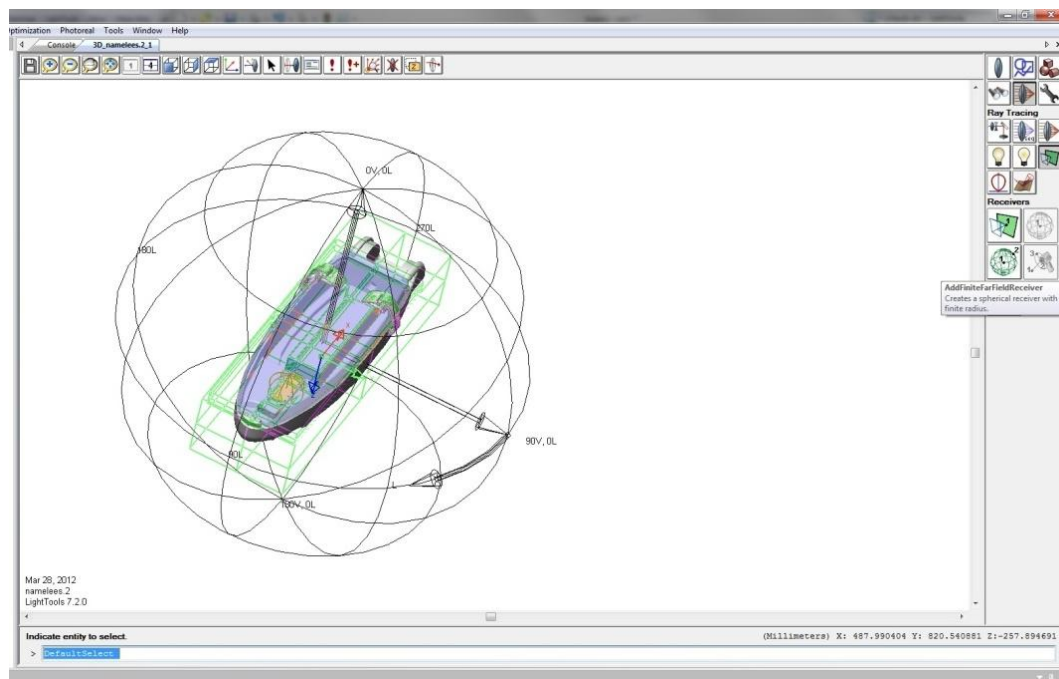




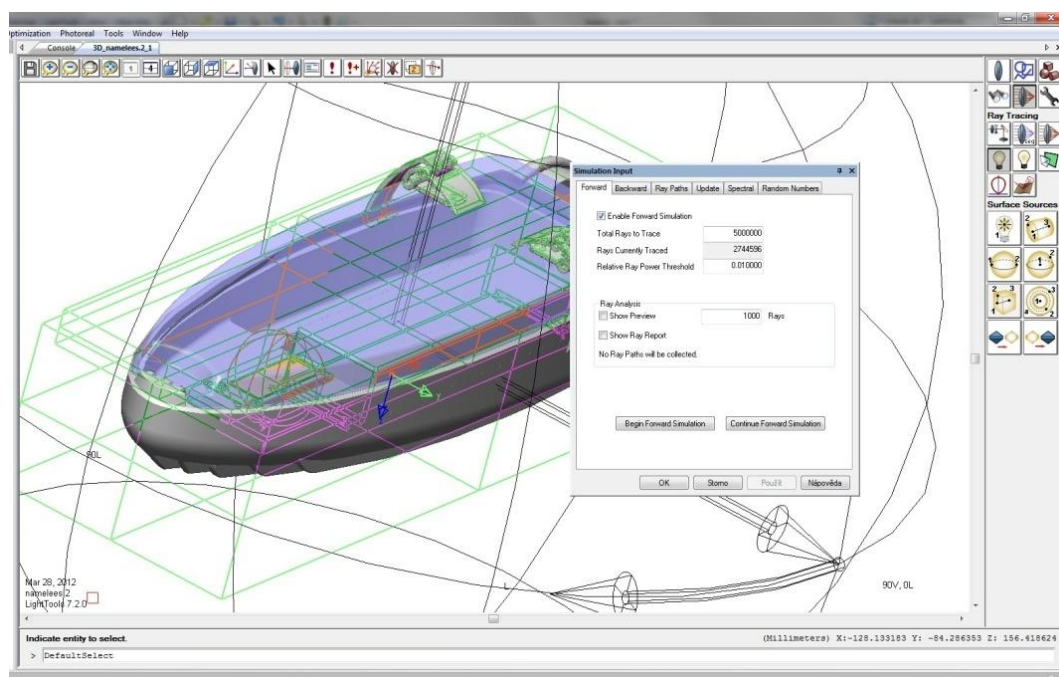
Obr. 35: Volba materiálu



Obr. 36: Nastavení zdroje světla



Obr. 37: Receiver - směr působení světla

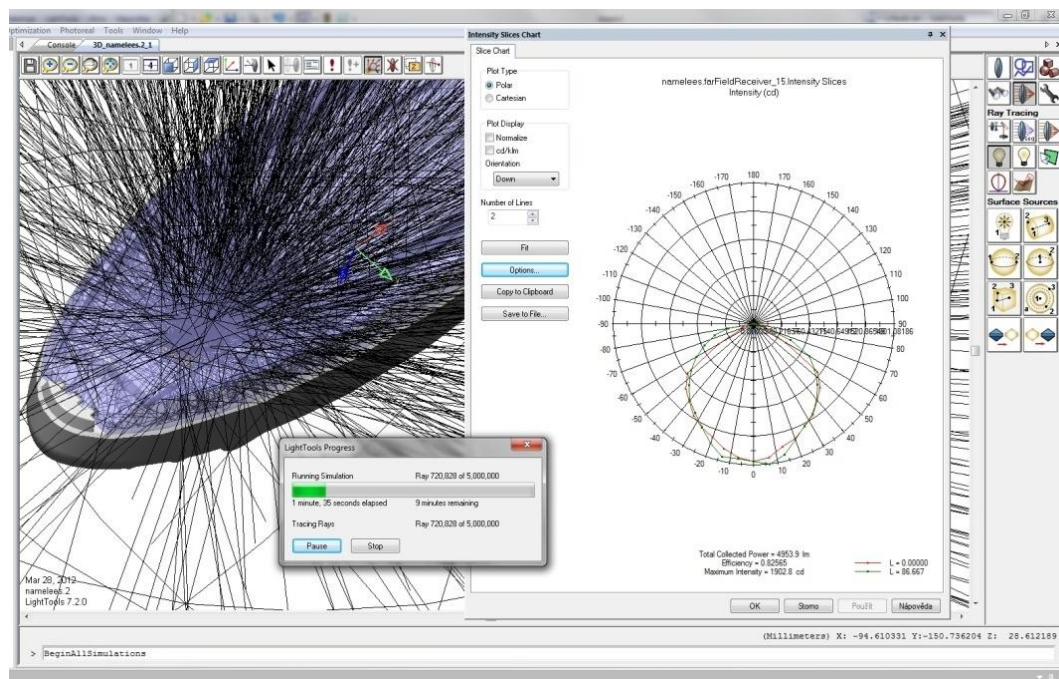


Obr. 38: Nastavení množství křivek

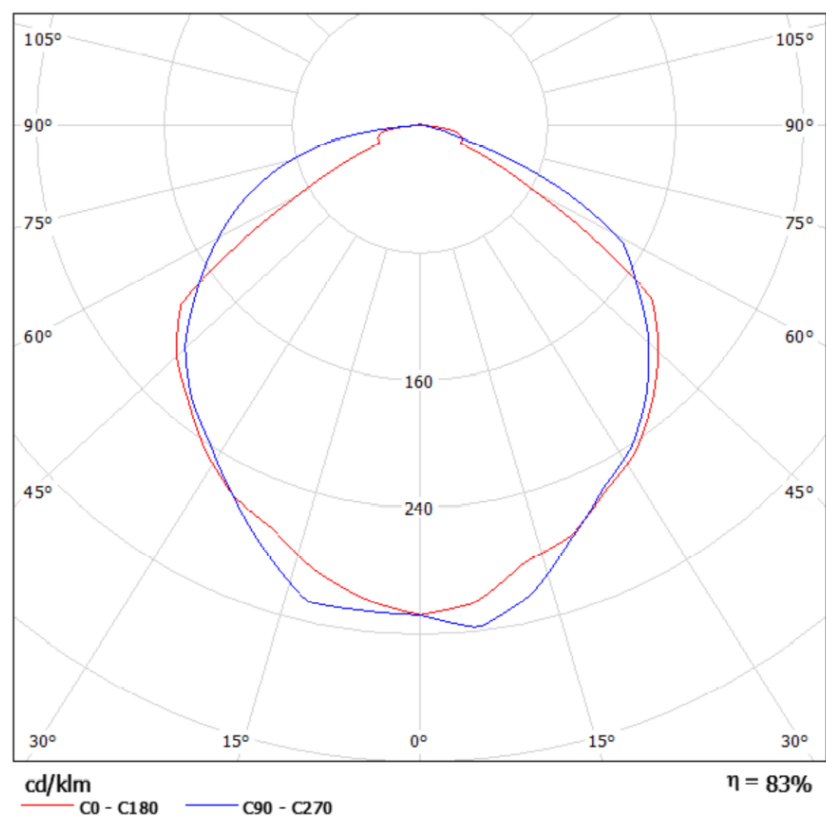
Po výše popsaných nezbytných úkonech bylo možné spustit samotnou simulaci, jejímž výstupem jsou křivky svítivosti a úrovně jasu. (obr. 39)

Z výsledných dat křivek svítivosti je vidět, že svítidlo není zdrojem světelného znečištění, jelikož světlo emituje maximálně pod úhlem  $75^\circ$  s účinností 83%. Díky tvaru se dá výhodně využít například pro parkoviště a jiné velké plochy. (obr. 40 a 41)

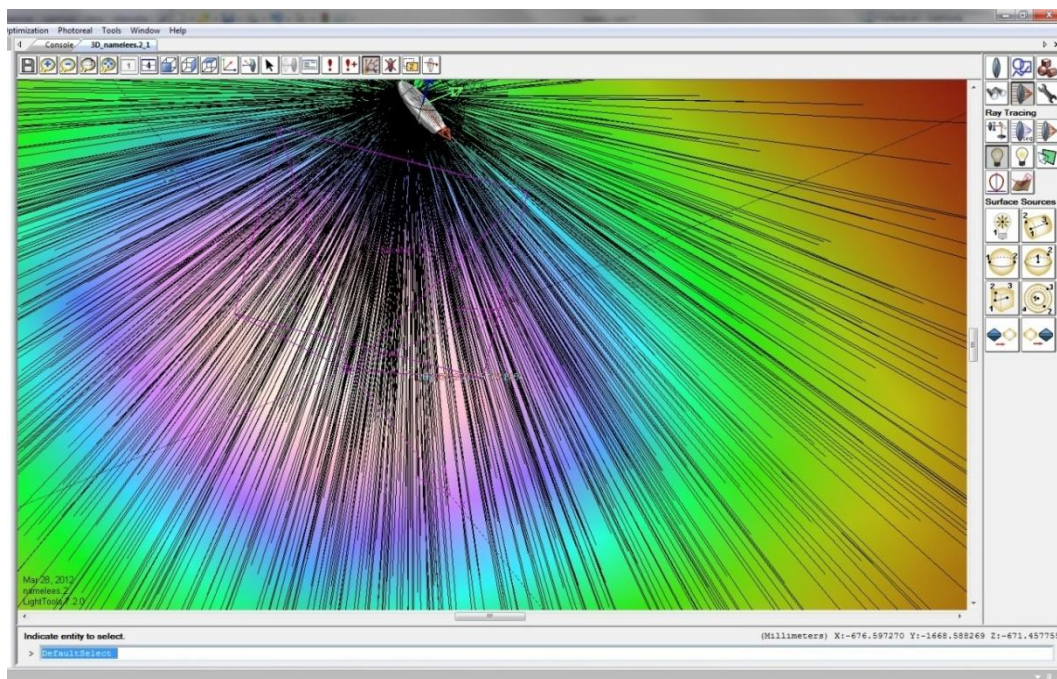




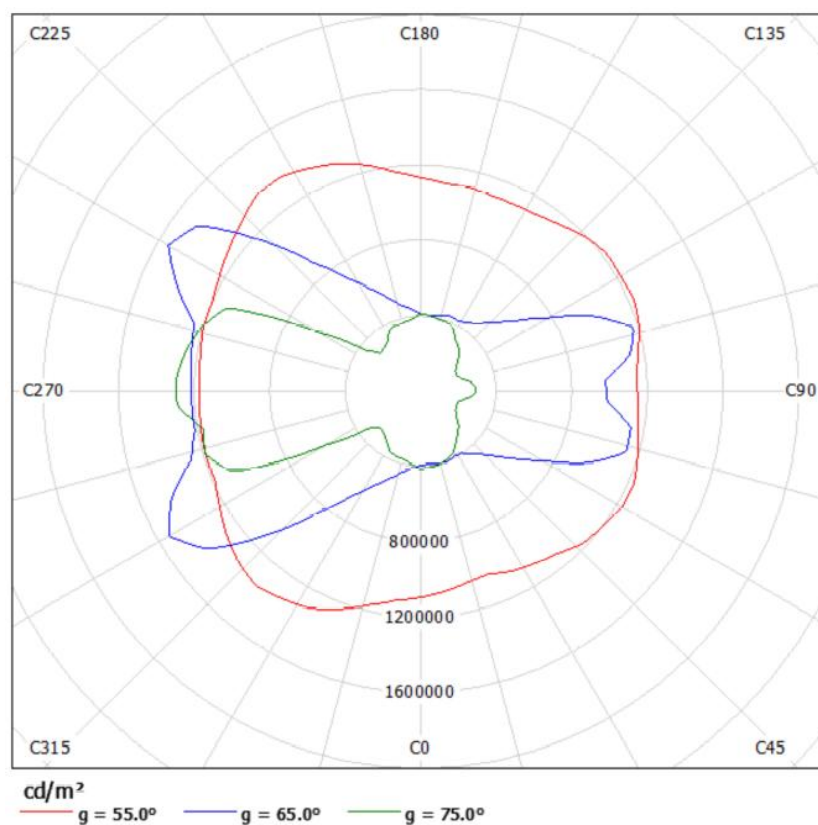
Obr. 39: Průběh výpočtu



Obr. 40: Křivky svítivosti



Obr. 41: Zobrazení svítivosti svítidla v prostoru



Obr. 42: Úrovně jasu

## 8. Ekonomické zhodnocení

Ve zhodnocení jsou zahrnuti 2 zaměstnanci, kteří by na obsluhu lisů i na montáž svítidla vystačili. Vychází se z průměrného měsíčního platu dle ČSÚ 26 tis. Kč povýšeného o nutné odvody zaměstnavatele. Náklady na formy a potřebná zařízení jsou odborně odhadnuty na 10 000 tisíc Kč. Náklady na energie, materiál a osazovanou elektroniku jsou uvedeny v následující tabulce. Konečná cena jednoho svítidla byla předběžně stanovena na 9 tisíc Kč, tedy včetně DPH. Předpokládá se, že za tři roky se prodá 6000 ks svítidel.

	Náklady	Příjmy (čistý zisk)
<b>2 zaměstnanci</b>	938 000 Kč/rok	
<b>Formy a zařízení</b>	10 000 000 Kč	
<b>Energie</b>	200 000Kč/rok	
<b>Materiál – hliník</b>	1300 Kč/ks	
<b>Materiál - plasty, těsnění</b>	500 Kč/ks	
<b>Elektronika</b>	2000 Kč/ks	
<b>Cena</b>		7200 Kč/ks
<b>Suma (3roky, 6000 ks)</b>	36 200 000 Kč	43 200 000 Kč
<b>Rozdíl</b>	+7 000 000 Kč	

## 9. Závěr

Diplomová práce byla zpracována jako projekt a proto byl v počátku sestaven harmonogram, podle kterého vznikaly její jednotlivé části (příloha č. 1).

V začátku diplomové práce byl popsán současný stav a trendy v oblasti LED technologie. Byl proveden průzkum stávajících řešení u konkurence a pomocí dotazníkové metody průzkum trhu mezi uživateli (přílohy 2 až 5), jejichž požadavky byly zohledněny při návrhu technologií svítidla, způsobů chlazení, použitých materiálů, konceptů korpusů svítidla, konceptů mechanismů a konceptů přístupů do svítidla (viz. kapitola 4). Jednotlivé návrhy, vyhodnocené jako nejlepší, byly vybrány a rozpracovány do jednoho svítidla, které výhodně využívá teplotní konvekce a kondukce k pasivnímu chlazení elektroniky. Svítidlo bylo analyzováno a optimalizováno z hlediska metod DFX (viz. kapitola 6) a byla provedena analýza možností vzniku vad FMEA (příloha 7).

Výsledkem je svítidlo se stupněm krytí IP66, což znamená, že zařízení je prachotěsné, je chráněno před dotykem drátem a má intenzivní ochranu proti tryskající vodě. Hmotnost svítidla včetně elektroniky je 5,2kg (cílová hmotnost byla max. 7kg), životnost zvolené technologie je 50 000 hodin (cílová životnost min. 40 000 hodin), světelný tok 6 000 lm s příkonem 59 W (cílový sv. tok min. 5000 lm s příkonem max. 80W), což splňuje požadavky zadání.

Svítidlo také splňuje veškeré požadavky zákazníků, jako jsou nízké náklady na údržbu, možnost regulace svítivosti (funkce stmívání). Umožňuje rychlé a časté spínání, neobsahuje žádné nebezpečné látky a není zdrojem UV záření. Svítidlo nevydává blikavé světlo a má tichý chod.

Byly provedeny výpočty v oblasti chlazení svítidla. Maximální přípustná teplota elektroniky byla dle výrobce stanovena na 50°C, přičemž dle analýzy provedené v softwaru ANSYS Workbench by při noční teplotě okolí 23°C byla teplota elektroniky 41°C. Kritické teploty elektroniky by bylo dosaženo až při noční teplotě okolí 33°C.

Při kontrole namáhání hlavních částí svítidla v softwaru Autodesk Simulation bylo zjištěno napětí von Mises v přírubě svítidla 3,8MPa, které nepřekračuje dovolené napětí 23,3 MPa.

Simulací křivek svítivosti v softwaru Light tools bylo zjištěno, že svítidlo je vhodné zejména pro osvětlení velkých ploch, jako jsou parkoviště, parky a náměstí, čímž je splněn požadavek stanovený na začátku projektu.

Na závěr bylo provedeno ekonomické zhodnocení zavedení LED technologie a byla stanovena cena 9 tisíc Kč jednoho svítidla, která odpovídá cenovému rozsahu, dle konkurence 7-15 tisíc Kč.

Přínosem diplomové práce je možnost rozšíření sortimentu firmy MODUS o svítidlo s výkonnou LED technologií a tím i zvýšení konkurenceschopnosti tohoto výrobce.

Při řešení křivek svítivosti byla identifikována potřeba jejich optimalizace pomocí difuzoru, který umožní velmi široký vyzařovací úhel a rovnoměrné osvětlení. Tato optimalizace není součástí této diplomové práce z toho důvodu, že svým rozsahem by se blížila samostatné diplomové práci, kterou by bylo zajímavé a přínosné provést, proto bych doporučoval tuto problematiku řešit v další diplomové práci.



## Použitá literatura

- [1] **Dufek.** Výroční zprávy. *Modus*. [Online] 2009. [Citace: 14. listopad 2011.] <http://www.modus.cz/cze/o-spolecnosti/vyrocní-zpravy>.
- [2] Trendy, problémy a výzvy v oblasti LED osvětlení. *zive.sk*. [Online] 10. Leden 2012. [Citace: 25. Leden 2012.] <http://www.zive.sk/tlacove-spravy/trendy-problemy-a-vyzvy-v-oblasti-led-osvetlenia/sc-5-a-298346/default.aspx>.
- [3] *Fortimo20LLM\_Product\_Presentation*. [pdf] místo neznámé : Philips, 2010.
- [4] Ekonomické hodnocení osvětlovací soustavy se světelnými diodami – LED. *ZAROVKYLED.EU*. [Online] LED Systems Holding, s.r.o. [Citace: 25. Leden 2012.] [http://www.zarovkyled.eu/index.php?main\\_page=index&cPath=67](http://www.zarovkyled.eu/index.php?main_page=index&cPath=67).
- [5] *MODUS spol. s r.o.* [Online] 2011. [Citace: 18. listopad 2011.] <http://www.modus.cz>.
- [6] **Pokorný, Přemysl.** Rapid Prototyping. *Katedra výrobních systémů*. [Online] [Citace: 25. Leden 2012.] [http://www.kvs.tul.cz/download/rapid\\_prototyping/rp2\\_skripta1.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/rapid_prototyping/rp2_skripta1.pdf).
- [7] Espacenet Patent search. *EPO*. [Online] [Citace: 18. Březen 2011.] <http://worldwide.espacenet.com>.
- [8] **Ševčík, L., Mašín, I.** *Metody inovačního inženýrství*. Liberec : Institut technologií a managementu s.r.o., 2006. 80-903533-0-4.
- [9] Elektroinstalace, zdroje elektřiny a světla. *Stavebnictví 3000*. [Online] 13. Leden 2008. [Citace: 15. Listopad 2011.] <http://www.stavebnictvi3000.cz/clanky/zarovka-usporna-zarovka-mnozstvi-svetla/>.
- [10] LEDs - High Brightness. *Farnell Element*. [Online] 2010. [Citace: 12. Prosinec 2011.] <http://cz.farnell.com>.
- [11] Svítidla a zdroje. *Philips LEVNĚ*. [Online] 2011. [Citace: 18. prosinec 2010.] <http://www.philips-levne.cz>.
- [12] Futureelectronics. [Online] Červen 2011. [Citace: 30. Leden 2012.] <http://www.futureelectronics.com/en/technologies/semiconductors/lighting-solutions/led-light-modules/Documents/Design%20In%20Guide.pdf>.

- [13] **Gregorová, Dagmar.** Na obzoru tepelně vodivý plastový elektroizolant. *Objective Source E-Learning*. [Online] 8. března 2010. [Citace: 4. listopad 2010.] <http://www.osel.cz/index.php?clanek=4924>.
- [14] Těsnící pásy z PTFE . *Temac Sealing Solution*. [Online] [Citace: 3. duben 2012.] <http://www.temac.cz/produkt.aspx?pid=29>.
- [15] Konstrukční prvky. *GES Electronics*. [Online] [Citace: 3. duben 2012.] <http://www.ges.cz/cz/eg-11gy-GES06814203.html>.
- [16] **Ševčík, L., Mašín, I.** *Metody inovačního inženýrství*. Liberec : Institut technologií a managementu s.r.o., 2006. 80-903533-0-4.
- [17] **Ševčík, Ladislav.** *PLM systém a principy návrhu výrobku*. Liberec : Technická univerzita v Liberci, 2010. ISBN 978-80-7372-641-6.
- [18] Manuál ANSYS
- [19] Manuál Light Tools
- [20] Dokumentace a podklady společnosti Modus spol. s r.o.
- [21] Časopis SVĚTLO

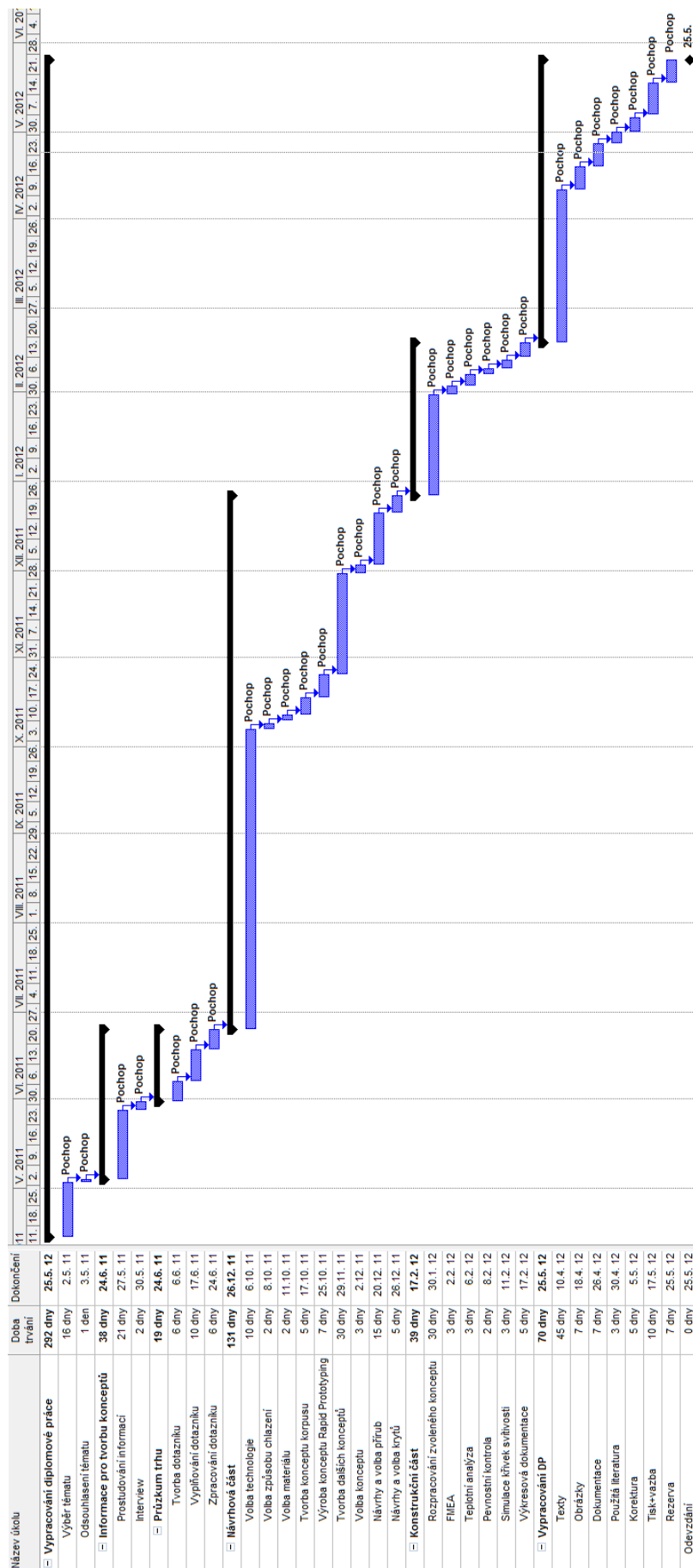
## **Seznam příloh:**

- Příloha č. 1: Harmonogram a inovační prohlášení
- Příloha č. 2: Průzkum konkurenčních výrobků
- Příloha č. 3: Svítidla v ulicích měst
- Příloha č. 4: Dotazník pro identifikaci zákaznických potřeb
- Příloha č. 5: Výsledky z dotazníku
- Příloha č. 6: Metoda DFA dle LUCAS
- Příloha č. 7: FMEA
- Příloha č. 8: Zhodnocení plnění stanovených kritérií
- Příloha č. 9: Výkresová dokumentace



Příloha č. 1: Harmonogram a inovační prohlášení

<b>Inovační prohlášení</b>	
<b>Popis výrobku</b>	Svítidlo veřejného osvětlení
<b>Výrobková vize</b>	LED technologie přinášející ekonomii a ekologii provozu.
<b>Klíčové obchodní cíle</b>	Prodej 5000 kusů produktu v Evropě a Asii
<b>Primární trh</b>	Evropa
<b>Sekundární trh</b>	Asie, Jižní Amerika, Severní Afrika
<b>Předpoklady a omezení</b>	Výrobek určen především pro obce myslící na ekonomii provozu. Pořizovací náklady zařízení jsou vyšší, nicméně spotřeba energií, životnost a náklady na údržbu jsou nižší a po několika letech se dá předpokládat návratnost investice. Pro spokojenost uživatelů je použita nejmodernější technologie světelných zdrojů od renomovaných výrobců, která je integrována v kvalitním těle (korpusu) od tradičního českého výrobce. Samozřejmostí bude rychlý start svítidla a regulace výkonu přesně podle požadavků, nízká pořizovací cena kolem 10 000Kč a hmotnost svítidla do 8kg.
<b>Účastníci inovačního procesu</b>	Jaroslav Pochop, Ladislav Ševčík, Tomáš Vach



Příloha č. 2: Průzkum konkurenčních výrobků

**Iguzzini - Platea LED** (str. 77-79)

(zdroj: [http://cms.esi.info/Media/documents/iGuzz\\_Platea\\_ML.pdf](http://cms.esi.info/Media/documents/iGuzz_Platea_ML.pdf))



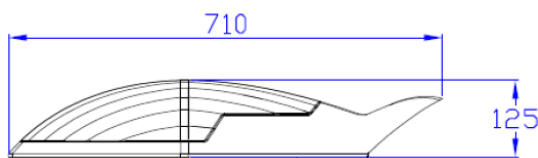
*Lamps description 36 x 1W LED*

**Indal - Stela LED** (str. 80-83) (zdroj: [http://www.wrtl.co.uk/Content/FileManager/Brochures/Urban/stela\\_brochure.pdf](http://www.wrtl.co.uk/Content/FileManager/Brochures/Urban/stela_brochure.pdf))



**Everlight - SL-Dolphin** (str. 84-87)

(zdroj: [http://www.everlight.com/datasheets/SL-Dolphin\\_datasheet\\_asia.pdf](http://www.everlight.com/datasheets/SL-Dolphin_datasheet_asia.pdf))



Příkon 48W – 120W odpovídá světelnému toku 3600lm – 9000lm.

**Platea Led**

design P. Castiglioni - M. Cucinella

IGuzzini



FLOODLIGHTS  
PROFESSIONAL FITTINGS WITH DYNAMIC COLOUR CHANGES  
LIGHTING PROJECTOR SYSTEMS FOR URBAN AREAS



Platea ensures excellent performance by using all the advantages that modern LED technology has to offer (not the least of which is lighting efficiency and energy savings) and by using colour (RGB) to create beautiful light scenery.

- Made of aluminium.
- Superpure aluminium reflector.
- Optics: Spot (S), Flood (F), Alo (Longitudinal asymmetric), Transversal Blade of Light (LT), Longitudinal Blade of Light (LL), Longitudinal Elliptical (EL), Transversal Elliptical (ET).
- Monochromatic LED version with 36-LED circuit, optics with plastic lenses, glass with customised serigraphy or striped glass, and 100-265Vac 50/60Hz built-in electronic control gear.
- RGB LED version with 36 multicolour LED circuit, DALI

electronic control board, optics with plastic lenses, glass with customised serigraphy or striped glass and 100-120/220-240Vac 50/60Hz built-in control gear.

- DALI RGB LED versions are provided with RGB DIRECT DIM for dimming with standard button with the following functions: Soft ON/OFF, colour change, last colour memory, default dynamic sequence.
- Ready for pass-through cables with M24x1.5 double cable clamp made of nickel-plated brass (for cables with 7-16mm diameter).
- Stainless-steel external screws.
- The technical characteristics of the fitting comply with EN60598-1 standard.
- IP66 IK04/08
- F seal
- Class of Insulation II



Neutral white  
(4000K)



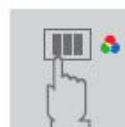
Warm white  
(3000K)



LED RGB DALI



Light control system



Direct dim  
(for RGB versions)



Transparent glass  
for Alo optic



Etched Glass  
for S and F optic



Reflector for optics  
LL, LT, EL and ET

## Platea Led

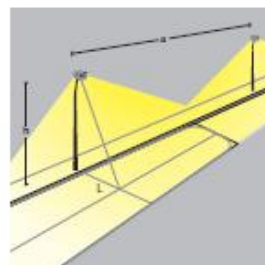
design P. Castiglioni - M. Cucinella

IGuzzini

FLOODLIGHTS  
PROFESSIONAL FITTINGS WITH DYNAMIC COLOUR CHANGES  
LIGHTING PROJECTOR SYSTEMS FOR URBAN AREAS

### Alo Optic

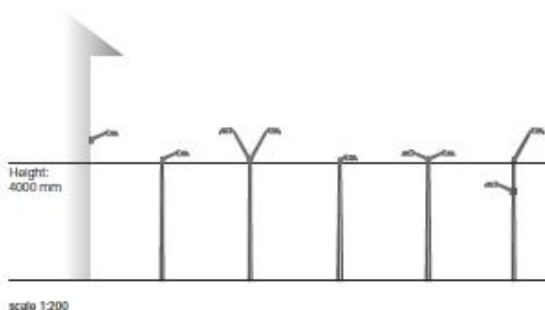
The innovative Alo optic, especially studied for the Platea system, is the ideal lighting solution for cycle lanes and pathways. It ensures high average illuminance values in compliance with class S3 of EN 13201-2, increasing safety of cycle and pedestrian traffic. The special reflector allows for large spacing between poles to guarantee high energy saving.



36x1W Cold white Alo Optic					
h	L	a	Emax	Emin	Uo
4 m	2,5 m	18,5 m	7,6 lux	1,5 lux	0,2

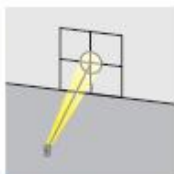
Cycle lane S3, EN 13201 Standard

Uo= Average uniformity of examined area  
h= Installation height  
a= Spacing between poles  
Emax= Average illuminance in the area  
Emin= Minimum illuminance



### RGB monochromatic Led Optic

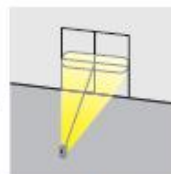
Platea Led is also equipped with a large range of optics for total flexibility to meet the most different lighting requirements of spaces. Flood, Spot, longitudinal and transversal blade of light optics, and two specific optics for RGB, ET and EL optics, create suggestive chromatic scenographic effects. Surfaces and details are enhanced by light with total visual comfort.



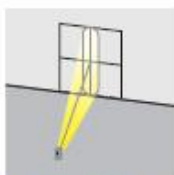
Spot (S) optic



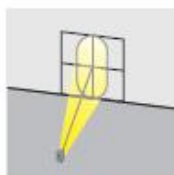
Flood (F) optic



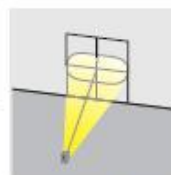
Transversal blade of light (LT) optic



Longitudinal blade of light (LL) optic



Transversal elliptical (ET) optic



Longitudinal elliptical (EL) optic

**Platea Led**

design P. Castiglioni - M. Cucinella

IGuzzini

FLOODLIGHTS  
PROFESSIONAL FITTINGS WITH DYNAMIC COLOUR CHANGES  
LIGHTING PROJECTOR SYSTEMS FOR URBAN AREAS



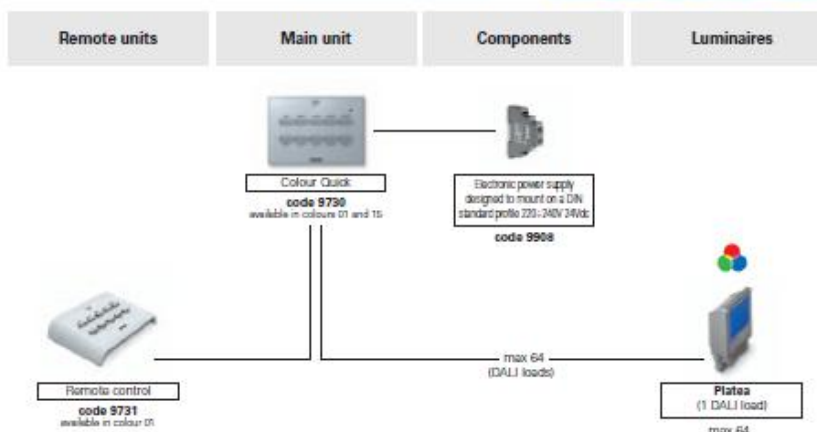
luminaire	code	optic	lamp
	<b>BA44</b>	S	36x1 W LED NEUTRAL WHITE
	<b>BA45</b>	S	36x1 W LED WARM WHITE
	<b>BA46</b>	F	36x1 W LED NEUTRAL WHITE
	<b>BA47</b>	F	36x1 W LED WARM WHITE
	<b>BA48</b>	LT	36x1 W LED NEUTRAL WHITE
	<b>BA49</b>	LT	36x1 W LED WARM WHITE

luminaire	code	optic	lamp
	<b>BA50</b>	LL	36x1 W LED NEUTRAL WHITE
	<b>BA51</b>	LL	36x1 W LED WARM WHITE
	<b>BC45</b>	ALo	36x1 W LED COOL WHITE
	<b>BC46</b>	ALo	36x1 W LED WARM WHITE
	<b>BB25</b>	F	72 Wmax 36 LED RGB DALI
	<b>BB26</b>	ET	72 Wmax 36 LED RGB DALI
	<b>BB27</b>	EL	72 Wmax 36 LED RGB DALI

accessories	code
Baffle Colour 04	<b>1176</b> for BA44-BA45-BA46-BA47-BA48-BA49-BB25-BB26
Wall washer screen Colour 04	<b>1177</b> for BA44-BA45-BA46-BA47-BA48-BA49-BB25-BB27



Block diagram  
of Colour Quick system



For the system definition,  
refer to the instructions.





**EVERLIGHT ELECTRONICS CO., LTD.**

## Dolphin Street Lighting Series

### SL-Dolphin/100240AC (CNS) - L4

#### Features

- Light source: High Power LED
- Comply with CNS 15233 Level 1 standard
- NO UV or IR light radiation
- Special batwing and asymmetrical light patterns
- CRI typical 70
- Optimized heat management system
- 100V-240V AC input
- LED power options of 60, 90, 120, 150W
- Power factor >90% @220VAC
- Power efficiency >85% @220VAC
- Long LED lifetime > 50,000 hrs (L70)
- IP 67 for light engine & power supply unit
- Operation temperature: -30°C~+50°C
- Easily upgradeable to higher performance light engine



#### Typical Applications

- Street Lighting
- Area Lighting
- Parking Lot Lighting
- Residential Street Lighting
- Walkway Lighting
- Public Safety Illumination

#### Housing Picture



Everlight Electronics Co., Ltd..  
Device No. : DMM-0000137

<http://www.everlight.com>  
Prepared date: 04-01-2010

Rev. 1 Page: 1 of 10  
Prepared by: Felix Tsai



**EVERLIGHT ELECTRONICS CO.,LTD.**

### Product Specification

Parameter	Description
Light Source	High Power LED
Optical Lens	PMMA Optical Lens <sup>1</sup>
Optical Design	Special Batwing and Asymmetrical Light Patterns
Correlated Color Temperature	Typical 5000K
Color Rendering Index	Typical 70
Housing	Aluminum with Anti-Corrosive Metallic Lacquer
Weight	~10 kg (~22lbs) with Power Supply Unit
Power Input	100~240 VAC Input
Installation Tube Diameter (OD <sup>2</sup> )	60 mm (2.36")
IP Rating	IP 67 for Light Engine& Power Supply

**Note:**

1. PMMA optical Lens can not be cleaned by organic or acidic solvent. Lens damage caused by organic or acidic solvent may lead to decrease of light output.
2. OD: Outer diameter

Everlight Electronics Co., Ltd..  
Device No. : DMM-0000137

<http://www.everlight.com>  
Prepared date: 04-01-2010

Rev. 1 Page: 4 of 10  
Prepared by: Felix Tsai





**EVERLIGHT ELECTRONICS CO.,LTD.**

**Electro-Optical-Thermal Characteristics ( $T_{Ambient}=25^{\circ}C$ )**

Parameter	Symbol	Property Unit				Unit
<sup>1</sup> Total Power Option	W	~70	~95	~128	~165	W
<sup>2</sup> Luminaire Light Output (5000K)	$\Phi_v$	Minimum 5600	Minimum 6300	Minimum 9000	Minimum 12900	lm
<sup>3</sup> Fixture Temperature	$T_f$	~40	~45	~50	~55	$^{\circ}C$
Input Voltage (AC)	VAC	100~240				V
Operating Temperature	$T_a$	-30~+50				$^{\circ}C$
Storage Temperature	$T_{stg}$	-30~+60				$^{\circ}C$

**Note:**

1. The luminaire power consumption is the maximum value measured at 220VAC operating.
2. Luminaire light output is measured at  $T_a=25^{\circ}C$  by following LM-79 standard and maintains a tolerance of +/- 10% on flux and power measurements..
3. The fixture temperature of SL-Dolphin series is measured under good natural convection and at  $T_a=25^{\circ}C$

Everlight Electronics Co., Ltd..  
Device No. : DMM-0000137

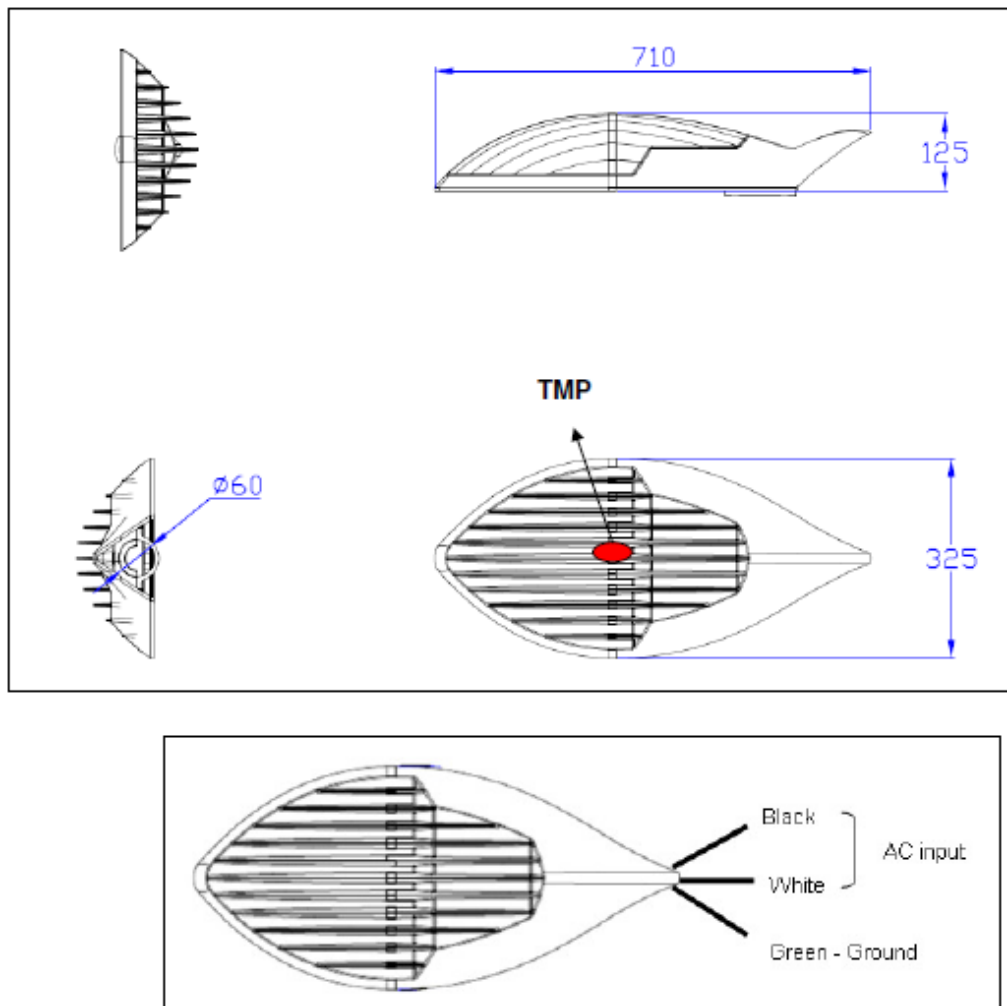
<http://www.everlight.com>  
Prepared date: 04-01-2010

Rev. 1 Page: 5 of 10  
Prepared by: Felix Tsai



**EVERLIGHT ELECTRONICS CO.,LTD.**

**Product Dimension: 710(L)X325(W)X125(H) mm**



**Notes:**

1. Dimensions are in millimeters
2. Tolerances unless otherwise mentioned is  $\pm 2$  mm

Everlight Electronics Co., Ltd..  
Device No. : DMM-0000137

<http://www.everlight.com>  
Prepared date: 04-01-2010

Rev. 1 Page: 6 of 10  
Prepared by: Felix Tsai

# Stela

IP 66

IK 10  
(Housing)

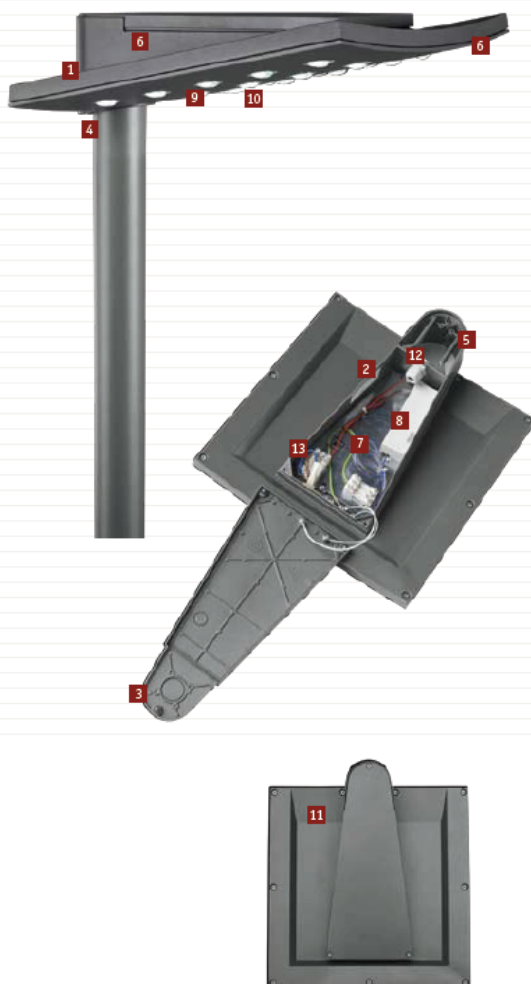
Class I

Class II □



## Stela COMPONENTS

- 1 Housing made in very corrosion resistant die-cast (LM6 quality) aluminium in Futura Gris 900 Sablé (anthracite), sealed together by stainless steel screws.
- 2 Driver compartment made of die-cast (LM6 quality) aluminium in Futura Gris 900 Sablé, captively attached to the housing after opening.
- 3 Opening/closing only needed for incidental replacement of driver (sealed for life). Driver compartment easily accessible by removal of three screws in the canopy.
- 4 Spigot made in die-cast (LM6 quality) aluminium in Futura Gris 900 Sablé. Stela Square and Wide for post top Ø 76mm (special adapter for Ø 60mm available). Stela Long for post top Ø 60mm and side entry Ø 32-60mm, separate version for post top Ø 76mm.
- 5 Mounting with two stainless steel M10 bolts (extra long bolts for small side entry diameters can be ordered with the lantern).
- 6 Gasket made of weather resistant material, for sealing upper and lower frame, and for ingress protection of driver compartment and lenses. Overall ingress protection is IP 66. All screws for assembly of upper/lower frame and driver compartment are positioned outside the IP 66 area.
- 7 Gear tray galvanised steel plate, mounted to bottom of driver compartment on top of the housing. Easy disconnection by plug and socket.
- 8 Gear electronic LED driver(s) are mounted on the gear tray. Special driver available for DIM versions with various regimes for switching time/dim %. Electrical supply available in three currents: 350mA and for higher lumen output also 500mA and 700mA.



Large cool, flat and smooth upper frame.

- 9 Optics LED only binning of high quality High-Power LED's are used. The Stela range offers three different light colours to meet the different demands in public lighting: cool white (most efficient light colour), neutral white and warm white.
- 10 Optics DIRECTA™ lens technology
  - Transparent impact resistant lenses.
  - Identical lens for each individual LED guaranteeing the original light distribution also in case of incidental LED failure.
  - Lenses available in three light distribution versions:
    - Narrow optic (optimised for widths 0.5-0.75x mounting height) for narrow streets, paths or alleys.
    - Standard optic (optimised for widths 1-1.5x mounting height) for common residential streets.
    - Wide optic (optimised for widths 2-2.5x mounting height) for wide streets and areas.
  - Minimal backward obtrusive light, light pollution and glare (up to G3).
  - Slightly curved lantern shape for optimal orientation and guidance.
- 11 COO-LED™ thermal management principle:
  - Flat, smooth and draining upper frame forms large cooling area.
  - Low current (350mA) LED operation for optimal ratio light output/power consumption.
  - LED life expectancy matching normal lantern service life time (~20-25 years), making lamp replacement no longer necessary.
- 12 Cable connection M20 gland, cable entry 10-14mm, with strain relief.
- 13 Electrical connection cable is standard connected to plug/socket on gear tray in the driver compartment. NEMA version connection in spigot (plug included in delivery) as an option. Insulation Class I and II available. Class I through connection to earth terminal in the driver compartment.

## Stela

### CHARACTERISTICS

### Road & Amenity lighting

#### Mounting

##### Stela Square / Wide

Suitable for post top mounting  $\varnothing$  60mm and  $\varnothing$  76mm. When installed on a  $\varnothing$  60mm post top, an aesthetically pleasing adapter is used.

Adapter for post top  $\varnothing$  60mm.



##### Stela Long

With a universal spigot for side entry  $\varnothing$  32-60mm and post top  $\varnothing$  60mm. The spigot can easily be put in either post top or side entry position by changing the fixation of the two spigot bolts. For post top  $\varnothing$  76mm a special spigot is available.



Side entry  $\varnothing$  32-60mm.



Post top  $\varnothing$  60mm.



Dedicated spigot for post top  $\varnothing$  76mm.

##### Stela Long tilt angle

Stela Long in post top comes standard in  $10^\circ$  tilt, and in side entry at  $0^\circ$  tilt. To optimise the light distribution for varying road geometries, the tilt angle can be adjusted:

- post top  $+5^\circ$  and  $+10^\circ$ .
  - side entry  $+0^\circ$ ,  $+5^\circ$ ,  $+10^\circ$ ,  $+15^\circ$  and  $+20^\circ$ .
- The tilt angle can easily be adjusted by loosening the two bolts at the outside of the spigot, putting the spigot in the required angle and refastening the bolts.



Stela Long post top  $10^\circ$  tilt angle.



Stela Long side entry  $0^\circ$  tilt angle.

##### Column mounting

Simple attachment to the column with two M10 bolts (optional anti theft bolts available).



Simple attachment to the column.

## Stela CHARACTERISTICS

### Stela Family

The Indal design team opted for a clearly individual character for this first functional LED product: it is immediately clear that the Stela involves something new.

The modern shape has serene, recognisable lines and will therefore be at home in various environments.

This makes Stela extremely suitable as a standard lantern for residential areas in particular, where a certain timelessness is often essential, especially when applied at a larger scale.



Stela Square and Wide.



Stela Long in post top and side entry position.

### Stela Square



Square 10 LED's.



Square 14 LED's.



Square 18 LED's.

The Stela family comes in a number of standard versions as shown here.

These standard LED configurations can be combined with:

- Different operating current options; 350mA, 500mA or 700mA.
- Different DIRECTA™ lens optics; narrow, standard or wide.
- Different LED light colours; cool white, neutral white or warm white.

In this way already a wide range of lumen packages and light distributions can be used in order to:

- Achieve the most energy efficient installation (W/lux/m²) at low (350mA) current.
- By operating the LED's at higher currents (500 or 700mA) or playing with the LED configurations:
  - 1) With relatively less LED's, so relatively lower initial costs, with higher lumen output. So the same system lumen output at a relatively higher energy consumption and reduced service life.
  - 2) With the same number of LED's with higher lumen output. So increased system lumen output at a relatively higher energy consumption and reduced service life.

### Stela Wide



Wide 24 LED's.



Wide 36 LED's.



Wide 52 LED's.

### Stela Long



Long 10 LED's.



Long 14 LED's.



Long 18 LED's.



Long 24 LED's.



Long 30 LED's.

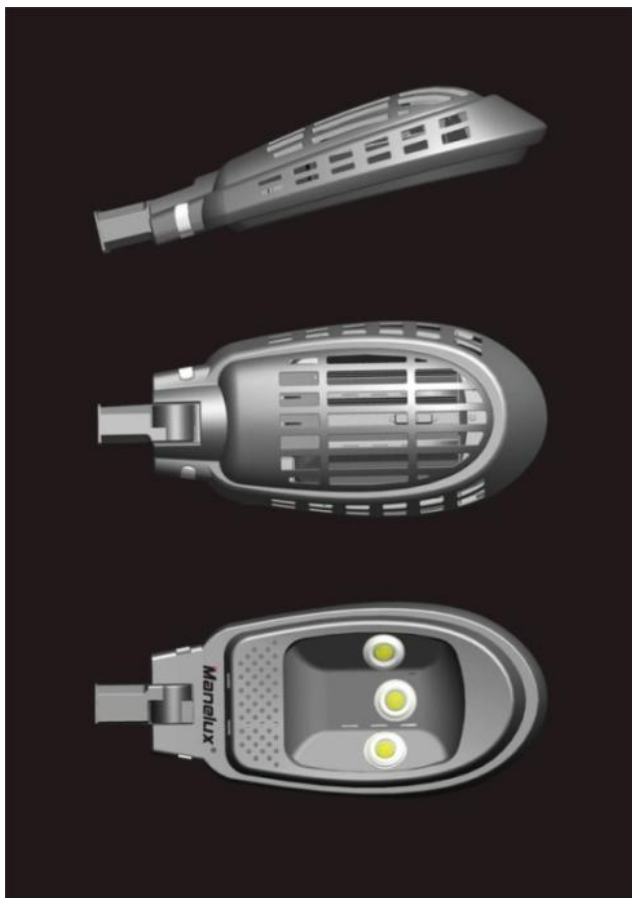
Other LED configurations are on request as extra option when a specific project demands another LED configuration/lumen packages. These are already offered in the Stela photometries.

Per Stela lantern type these additional configurations are:

- Stela Square 12 or 16 LED's.
- Stela Wide 28, 32, 40, 44 or 48 LED's.
- Stela Long 12, 16, 20, 22, 26 or 28 LED's.

In the case of ordering these different LED configurations you need to consider a longer delivery time and a minimum order quantity.

**Manelux Lighting – Cruiser** (zdroj: <http://www.manelux.com/en/>)



3x Createopto 30W LED matice dávající světelný tok 5400 lm.
Světla jsou navržena s ohledem na velmi účinné odvedení tepla.
Příkon světel od 37,5W (30W LED verze) do 112,5W (90W LED).
Vstupní napětí je od 110 do 240V střídavého či 12/24V stejnosměrného proudu
Provozní teplota je od -25 °C do +65 °C.
60W LED verze nahrazuje 150W výbojku.

## Apto Group - 140W / 120W / 96W LED pouliční osvětlení

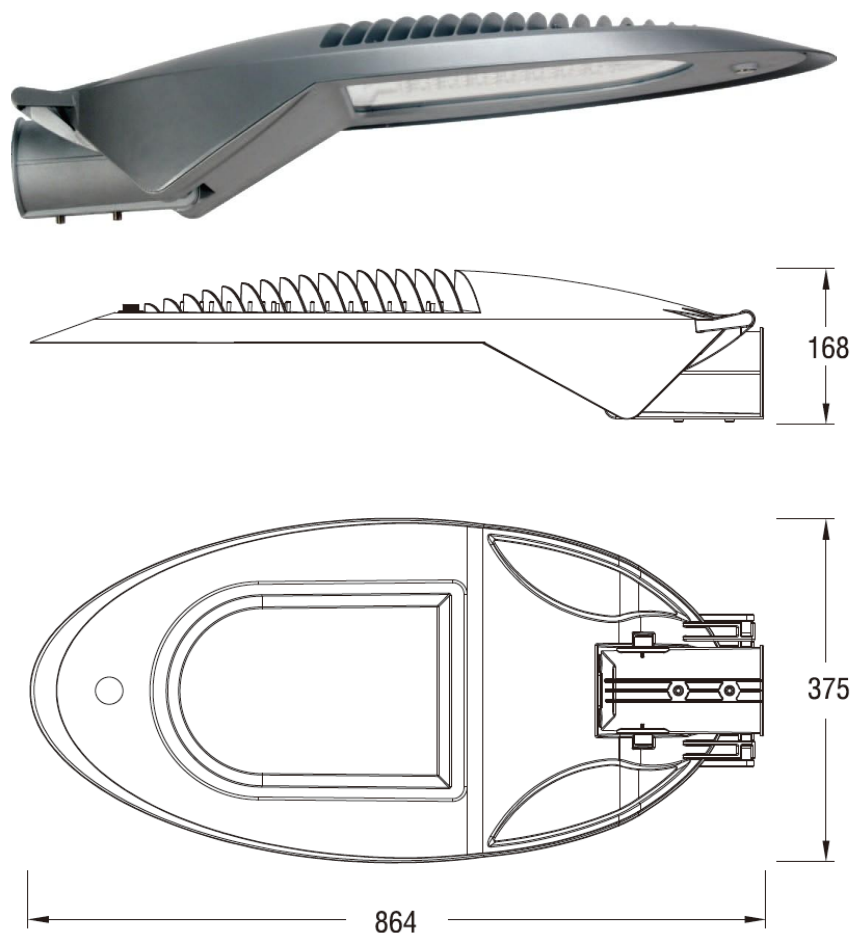
(zdroj: <http://www.apto.cz/led-svitidla/exterierova-svitidla/140w-120w-9w-poulicni-osvetleni/>)



Tvar paprsku odpovídá klasifikaci IESNA typ II.
Doporučená instalační výška je až 10 m při zachování uniformní distribuce světla.
Inteligentní regulační obvody zajišťují optimální světelný tok z každé jednotlivé LED.
LED jsou zapojeny do několika na sobě nezávislých okruhů.
Sofistikovaná ochrana proti přepětí.
Účinník větší než 0.98 při plné zátěži (147W/126W/101W).
Optimální odvod tepla, patentovaný systém chlazení a uniformní zahřívání svítidla zajišťují maximální teplotu 60°C/55°C/50°C na jeho povrchu při okolní teplotě 30°C.
Dosáhne-li teplota povrchu svítidla 70°C, systém sníží příkon až do ochlazení.
Snadná instalace a údržba celého systému.
Nízká spotřeba energie.
Dlouhá životnost.



**DJRA2-90** (zdroj: [http://www.zarovkyled.eu/index.php?main\\_page=product\\_info&cPath=78&products\\_id=653](http://www.zarovkyled.eu/index.php?main_page=product_info&cPath=78&products_id=653))

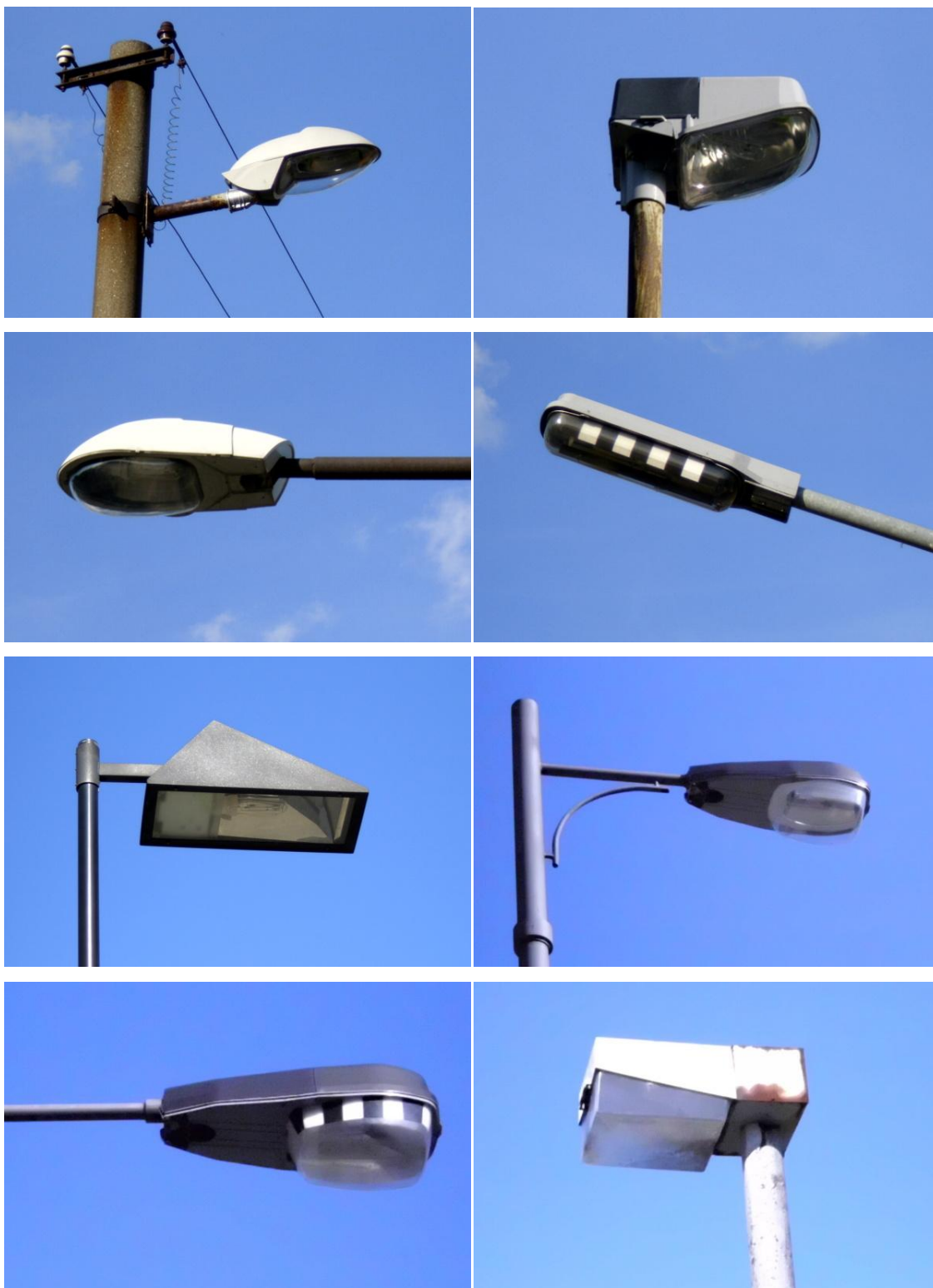


**POUŽITÍ:** Pěší zóny, parky, náměstí, parkoviště, vedlejší vozovky.

**KONTRUKCE:** Světlo je vyrobené z tlakově odlitého hliníku a tvrzeného skla, světla jsou osazena diodami OSRAM nebo CREE.

Počet LED:	80ks
Příkon tělesa:	96W
Barevná teplota (K):	6500K/ 4500K/ 3200K
Světelný tok (lm):	7861 lm/7373 lm/6087 lm
Provozní teplota:	-25°C až +50°C
Provozní vlhkost:	10% až 90%
Krytí:	IP65
Instalační průměr výložníku:	Ø48mm / Ø60mm
Životnost:	50000 hodin
Hmotnost tělesa (kg):	10,62 kg

Příloha č. 3: Svítidla v ulicích měst



Příloha č. 4: Dotazník

## Dotazník - pouliční osvětlení

Rád bych Vás poprosil o vyplnění dotazníku, který se týká pouličních svítidel. Tato svítidla se převážně používají pro parky a ulice, ale je možné je použít i pro osvětlení haly, vjezdu k domu nádvoří. Prosím otevřete si následující odkaz, kde jsou vloženy obrázky týkající se pokládaných otázek:

[http://jpochoep.rajce.idnes.cz/Svitidla\\_verejneho\\_osvetleni/](http://jpochoep.rajce.idnes.cz/Svitidla_verejneho_osvetleni/)

V současné době je v pouličních svítidlech velmi hojně používaná sodíková výbojka, která má velmi nerovnoměrné osvětlení, vysoké náklady na údržbu, krátkou životnost, vysokou spotřebu energie. Jedná se o průzkum k diplomové práci a jeho vyplnění Vám nezabere více jak 7 minut. Děkuji za vyplnění dotazníku a v případě jakýchkoli otázek mě můžete kontaktovat na mailu [jaroslav.pochop@gmail.com](mailto:jaroslav.pochop@gmail.com)



\*Povinné pole

Pohlaví \*

☐ Muž ☐ Žena

Váš věk \* zde prosím vyplňte Váš věk

☐ 0-20 ☐ 21-25 ☐ 26-30 ☐ 31-40 ☐ 40-100

Zajímáte se o vzhled a tvar pouličních/parkových svítidel? \* například jejich pozorováním

☐ Ano ☐ Spíše ano ☐ Spíše ne ☐ Ne

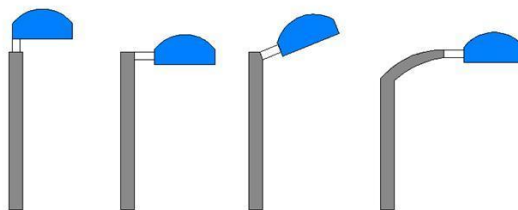
Vadí Vám "problíkávání" svítidel? \*

☐ Ano ☐ Spíše ano ☐ Spíše ne ☐ Ne ☐ Nikdy jsem toto nezaregistroval

Je podle Vás důležitá možnost nastavení různých úhlů svítidla, aby jej bylo možné

použit univerzálně na jakémkoli stožáru? \* viz. obrázek

- ☐ Ano  
☐ Spíše ano  
☐ Spíše ne  
☐ Ne



Bylo by pro Vás důležité, aby svítidlo neobsahovalo škodlivé látky ani neprodukovalo UV záření? \*

- ☐ Ano ☐ Spíše ano ☐ Spíše ne ☐ Ne

Kolik podle Vás přibližně stojí obyčejné pouliční svítidlo

- ☐ 1500 Kč  
☐ 3000 Kč  
☐ 6000 Kč  
☐ 9000 Kč  
☐ 12000 Kč  
☐ Jiné:



Přijde Vám možnost bezúdržbového provozu svítidla důležitá? \* Ročně stojí údržba jednoho svítidla se sodíkovou výbojkou kolem 200Kč.

- ☐ Ano ☐ Spíše ano ☐ Spíše ne ☐ Ne

Zajímalo by Vás svítidlo, které má až o 50% nižší spotřebu energie a několikanásobně vyšší životnost oproti současně používaným svítidlům? \*

- ☐ Ano ☐ Spíše ano ☐ Spíše ne ☐ Ne

Byli byste ochotni zaplatit vyšší pořizovací cenu za svítidlo, kdybyste věděli, že se Vám do 6 let tato investice navrátí? \*

- ☐ Ano ☐ Spíše ano ☐ Spíše ne ☐ Ne

Je podle Vás důležitá možnost častého spínání a rychlého rozsvícení svítidla? (například pro domácí použití na dvoře) \*

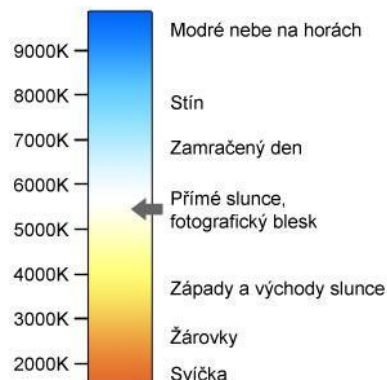
- ☐ Ano ☐ Spíše ano ☐ Spíše ne ☐ Ne

Bylo by podle Vás zajímavé mít možnost stmívání, tedy snížení svítivosti v nočních hodinách? \* (například mezi 1 – 4 hodinou ranní), kdy na ulicích není potřeba mít velké osvětlení, čímž by se snižovalo světelné znečištění.

- ☐ Ano ☐ Spíše ano ☐ Spíše ne ☐ Ne

Jaké teploty barev Vám vyhovují? \* viz. obrázek

- ☐ teplé 1200K (svíčka)
- ☐ 2500K (žárovka)
- ☐ 4000K (východ slunce)
- ☐ 5000K (zářivka)
- ☐ studené 6000K (sluneční světlo)
- ☐ nezáleží na tom



(obrázek z [http://www.fotografovani.cz/art/fozak\\_df/rom\\_1\\_07\\_object\\_wb.html](http://www.fotografovani.cz/art/fozak_df/rom_1_07_object_wb.html))

Líbí se Vám změna teploty a intenzity světla na pravé straně na obrázku oproti straně levé? \* jedná se o porovnání zdrojů světla - sodíkové výbojky a LED diody

- ☐ Ano
- ☐ Spíše ano
- ☐ Spíše ne
- ☐ Ne

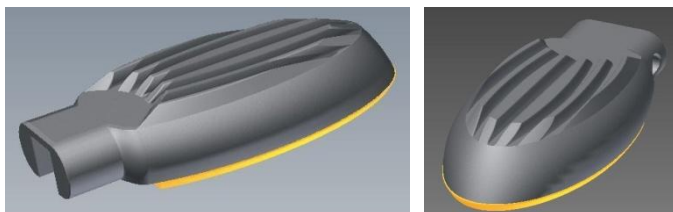


Jakému designu svítidel dáváte přednost? \*

- ☐ Moderní ☐ Historický ☐ Standardní ☐ Jiné:

Líbí se Vám design svítidla na obrázku? \*

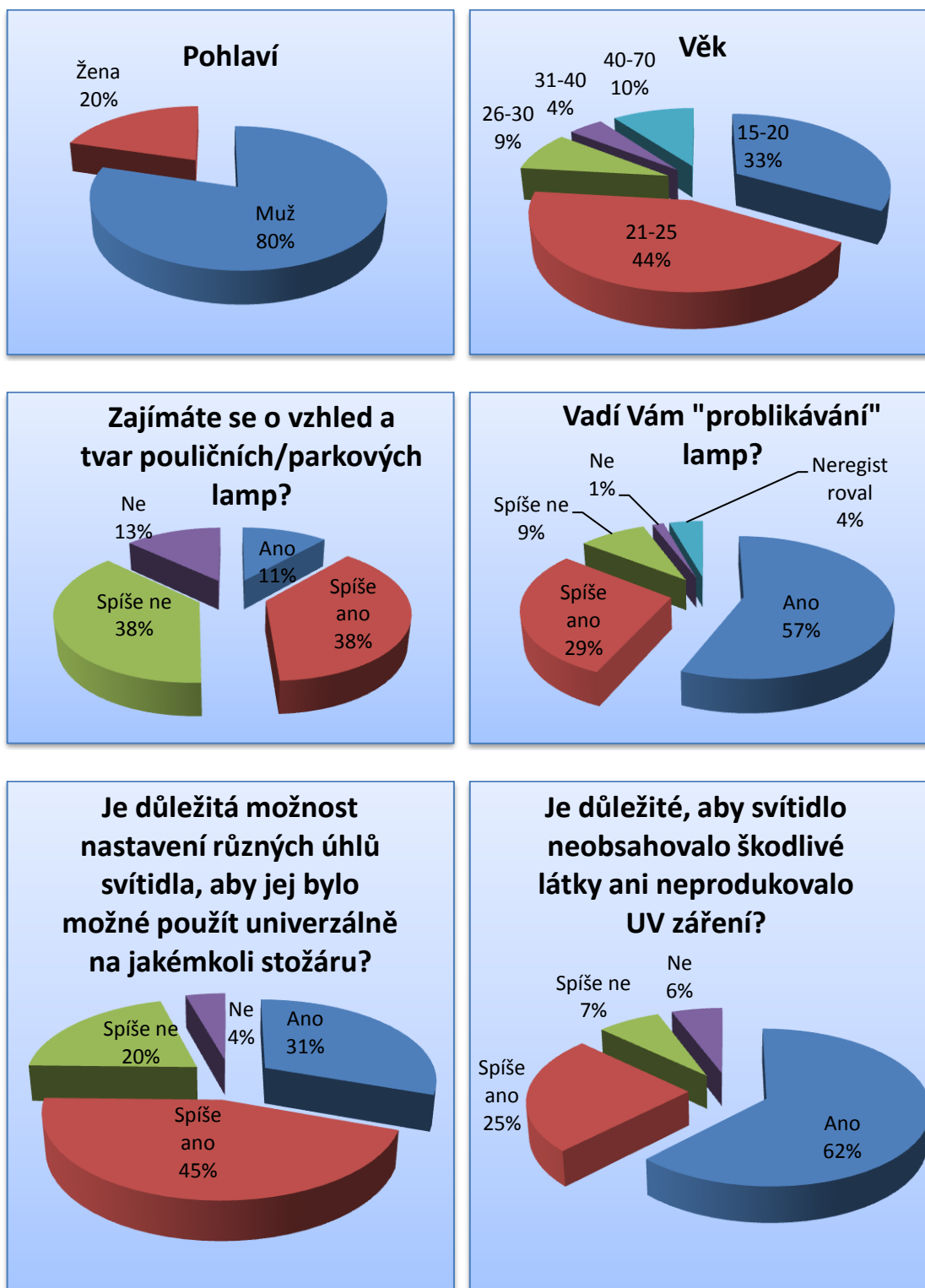
- ☐ Ano
- ☐ Spíše ano
- ☐ Spíše ne
- ☐ Ne



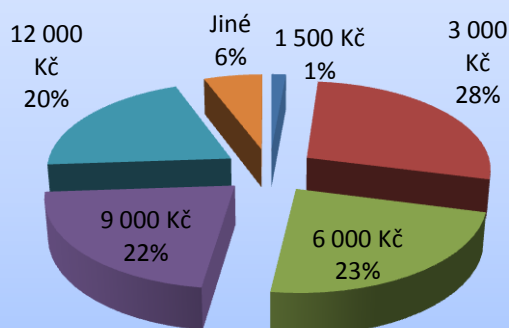
Dokážete si představit, že by pouliční svítidlo mohlo plnit i jinou funkci, než pouze osvětlovat parky a ulice?

Děkuji Vám za vyplnění dotazníku. Pokud Vás napadla nějaká připomínka, prosím napište ji.

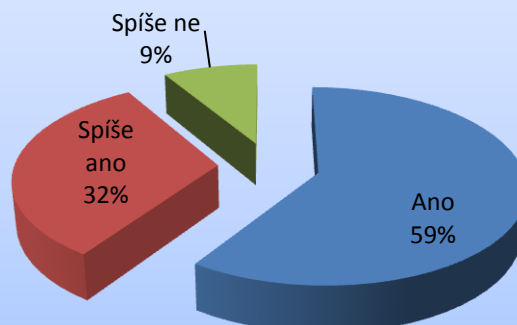
Příloha č. 5: Výsledky z dotazníku



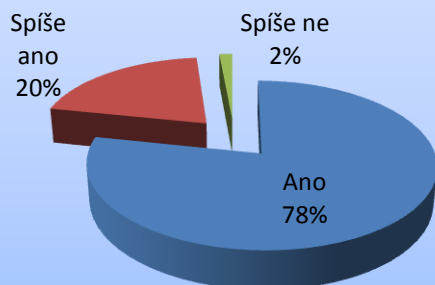
**Jaké jsou dle Vás náklady  
na pouliční lampu? (cena  
bez stožáru)**



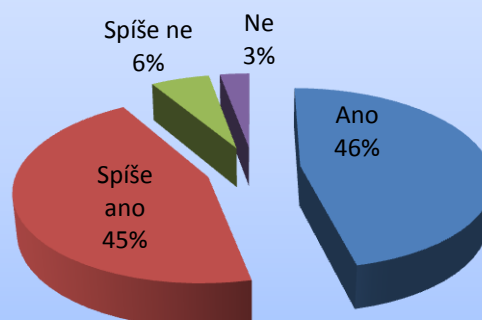
**Přijde Vám možnost  
bezúdržbového provozu  
svítidla důležitá?**



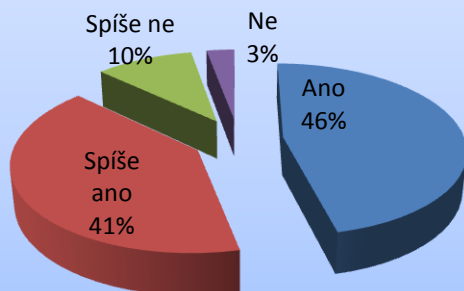
**Zajímalo by Vás svítidlo,  
které má až o 50% nižší  
spotřebu energie a  
několikanásobně vyšší  
životnost oproti současně  
používaným svítidlům?**



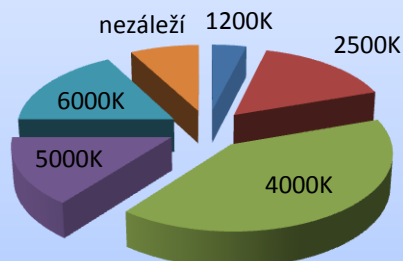
**Byli byste ochotní zaplatit  
vyšší pořizovací cenu za  
svítidlo, kdybyste věděli,  
že se Vám do 6 let tato  
investice navrátí?**



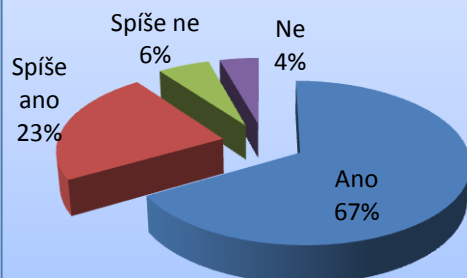
**Je podle Vás důležitá  
možnost častého spínání  
a rychlého rozsvícení  
svítidla? (například pro  
domácí použití na dvoře)**



**Jaké teploty barev Vám  
vyhovují?**



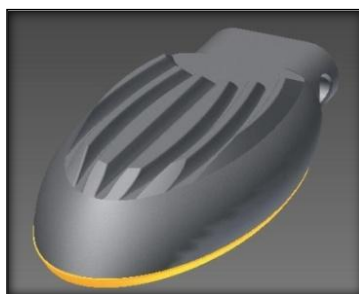
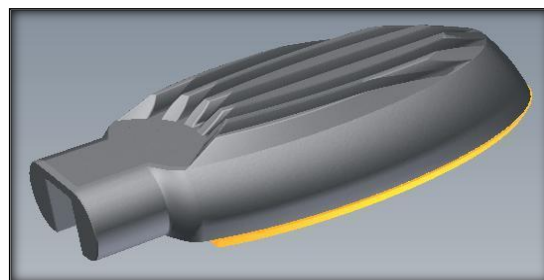
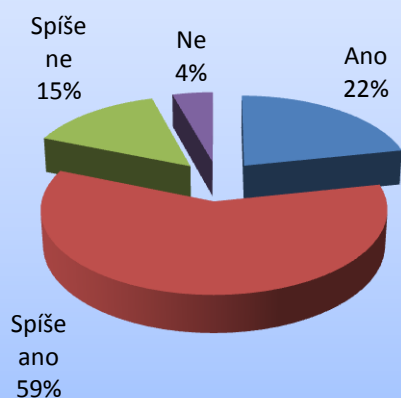
**Bylo by podle Vás  
zajímavé mít možnost  
stmívání, tedy snížení  
svítivosti v nočních  
hodinách ?**



**Jakému designu svítidel  
dáváte přednost?**



**Líbí se Vám design svítidla  
na obrázku?**





Příloha č. 6: Metoda DFA dle LUCAS:

**Lucas DFA method - Manual Handling Analysis**

Handling Index = A+B+C+D		<b>B. Handling difficulties</b> <b>All that apply</b>	
<b>A. Size &amp; Weight of Part</b> <b>One of the following</b>		Delicate	0.4
Very small - requires tools	1.5	Flexible	0.6
Convenient - hands only	1	Sticky	0.5
Large and/or heavy requires more than 1 hand	1.5	Tangible	0.8
Large and/or heavy requires hoist or 2 people	3	Severely nest	0.7
		Sharp/Abrasive	0.3
		Untouchable	0.5
		Gripping problem / slippery	0.2
		No handling difficulties	0
<b>C. Orientation of Part</b> <b>One of the following:</b>		<b>D. Rotational Orientation of Part</b> <b>One of the following</b>	
Symmetrical, no orientation req'd	0	Rotational Symmetry	0
End to end, easy to see	0.1	Rotational Orientation, easy to see	0.2
End to end, not visible	0.5	Rotational Orientation, hard to see	0.4

**Lucas DFA method - Manual Fitting Analysis**

Fitting Index = A+B+C+D+E+F			
<b>A. Part Placing and Fastening</b> <b>One of the following</b>		<b>D. Access and/or Vision</b> <b>One of the following</b>	
Self-holding orientation	1.0	Direct	0
Requires holding	2.0	Restricted	1.5
<i>Plus 1 of the following</i>			
Self-securing (i.e. snaps)	1.3		
Screwing	4.0		
Riveting	4.0		
Bending	4.0		
<b>B. Process Direction</b> <b>One of the following</b>		<b>E. Alignment</b> <b>One of the following</b>	
Straight line from above	0	Easy to align	0
Straight line not from above	0.1	Difficult to align	0.7
Not a straight line	1.6		
<b>C. Insertion</b> <b>One of the following</b>		<b>F. Insertion Force</b> <b>One of the following</b>	
Single	0	No resistance to insertion	0
Multiple insertions	0.7	Resistance to insertion	0.6
Simultaneous multiple insertions	1.2		

(zdroj: <http://deed.ryerson.ca/~fil/t/dfmlucas.html>)

Příloha č. 7: FMEA

Název FMEA: LVLED6000					Zpracovatel: Jaroslav Pochop								
Funkce	Možná chyba	Možný důsledek	Příčina	Kontrolní a Preventivní opatření	Vznik A	Význam B	Odhalení C	Možné riziko RPZ	Doporučená opatření	Vznik A	Význ. B	Odhal. C	M. Riz.
Korpus	Mechanické poškození	Nespokojený uživatel	Neopatrná manipulace	Vyškolení personálu	3	7	2	42					
	Vnější Zanášení	Zahřívání	Tvar korpusu	Konstrukce	8	5	1	40					
	Koroze	Nevzhlednost	Špatně zvolený materiál	Hliník	1	7	3	21					
Kryt	Prasknutí	Zatekání, zničení modulu	Neopatrná manipulace	Vyškolení personálu	4	4	3	48					
			Materiál	Materiál s vyšší pevností	1	7	3	21					
			Konstrukce	Tloušťka krytu	1	7	3	21					
	Znečištění	Nižší propustnost světla	Špinavé ruce	Používání rukavic	3	6	2	36					
	Poškrábaný povrch	Nevzhlednost	Manipulace	Vyškolení personálu, Obaly	4	4	3	36					

Modul	Nepřichycen	Poškození	Nedostatečná spojovací síla	Proškolení personálu, kontrola	2	8	3	48				
	Umístěn obráceně	Krátká elektroinstal.	Nepozornost personálu	Proškolení personálu, kontrola	2	9	2	36				
	Zahřívá se	Nižší životnost	Chybějící teplovod. pasta	Vizualizace, použití teplovod. pasty	2	8	3	48				
		Menší výkony	Špatně navržené chlazení	Kontrola teplot simulací	1	8	1	8				
Příručka	Uvolnění	Pád světla	Nedostatečně utažené šrouby	Návod s dostatečným upozorněním	3	8	3	72				
	Prasknutí	Pád světla	Nedolity odlitek	Vizuální kontrola	2	8	3	48				
			Nedostatečná konstrukce	Pevnostní zkouška	1	8	2	16				
	Koroze	Nižší pevnost	Špatně navržený materiál	Hliník	1	7	1	7				
		Nevzhlednost										

101

Příloha č. 8: Zhodnocení plnění stanovených kritérií:

Vlastnost	Cílová hodnota	Skutečná hodnota	
<b>Hmotnost</b>	max. 7kg	5,2 kg	✓
<b>Životnost</b>	min. 40 000 hod.	min. 50 000 hod.	✓
<b>Cena</b>	7-15tis. Kč	9 tis. Kč	✓
<b>Světelný tok</b>	min. 5000 lm	6000 lm	✓
<b>Stupeň krytí</b>	IP 66	IP 66	✓
<b>Chlazení</b>	max. tep. okolí 23°C	max. tep. okolí 33°C	✓
<b>Spotřeba energie</b>	80W	59W	✓
<b>Náklady na údržbu</b>	Nízké	Téměř žádné	✓
<b>Stmívání</b>	ANO	ANO	✓
<b>UV záření</b>	Neobsahuje	Neobsahuje	✓
<b>Problikávání svítidla</b>	Neproblikává	Neproblikává	✓
<b>Časté spínání</b>	ANO	ANO	✓

Příloha č. 9: Výkresová dokumentace:

